

معالجة المخلفات الخطرة والتخلص منها



مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

دار الكتب العلمية
للنشر والتوزيع
القاهرة

دار الكتب العلمية النشر والتوزيع

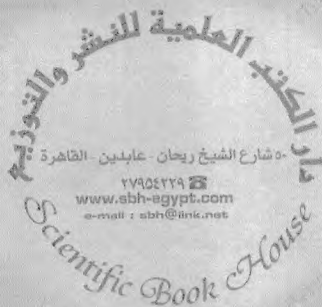
٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة

٢٧٩٥٤٢٢٩ ☎

www.sbh-egypt.com

e-mail : sbh@link.net

Scientific Book House



في شؤون البيئة

معالجة المخلفات الخطرة والتخلص منها

مهندس

محمد أحمد السيد خليل

إستشاري في الهندسة الكيميائية

الكتاب :	معالجة المخلفات الخطرة والتخلص منها
المؤلف :	م / محمد احمد السيد خليل
الناشر :	دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع - القاهرة
المقاس :	٢٤ X ١٧
عدد الصفحات :	٤٤٨
الطبعة الاولى :	٢٠١١
رقم الإيداع :	٢٠١٠/٩٠٥٦
ردمك :	٩٧٨ ٩٧٧ ٢٨٧ ٩٥٤ ٥
مؤلف الكتاب : محمد حسنى	

© حقوق النشر والطبع والتوزيع محفوظة لدار الكتب العلمية للنشر والتوزيع - ٢٠١١

لا يجوز نشر جزء من هذا الكتاب أو إعادة طبعه أو اختصاره بقصد الطباعة أو اختزان مادته العلمية أو نقله بأي طريقة سواء كانت إلكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو خلاف ذلك دون موافقة خطيه من المؤلف مقدماً .

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة

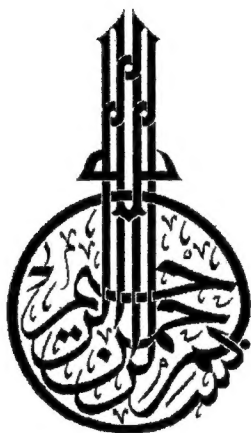
٢٧٩٥٤٢٢٩ - ٢٧٩٤٨٦١٩ ☎

فاكس: ٢٧٩٢٨٩٨٠

لمزيد من المعلومات يرجى زيارة موقعنا على الإنترنت

www.sbhegypt.org

e-mail : sbh@link.net



إهداء

أهدي هذا الإصدار إلى زوجتي ورفيقة عمري

على اسهاماتها المستمرة في المراجعة والتنسيق
لكل مؤلفاتي حتى ظهرت بالصورة اللائقة،،

المؤلف

استشاري مهندس

محمد أحمد السيد خليل



المقدمة

المخلفات الخطرة تشمل العديد من المواد نتيجة الأنشطة الصناعية والمعملية والتي تتمثل خطورتها في كونها إما قابلة للاشتعال أو مسرطنة أو سامة أو قابلة للانفجار أو ذات نشاط إشعاعي أو عدوانية لكونها عالية الحموضة أو القلوية أو ناقلة للعدوى. .. إلخ مثل تلك المخلفات تشكل تهديدًا لصحة الإنسان وللبيئة. ولقد كان هذا الدافع لاعداد هذا المرجع لتناول الطرق الطبيعية والكيميائية والحرارية والبيولوجية لمعالجة تلك المخلفات وكذلك طرق التخلص النهائي منها. وقد تم إعداد هذا المرجع في سبعة أبواب متضمنة ٤٣ فصلاً. حيث شمل الباب الأول تعريف بالمخلفات الخطرة وتأثيراتها الصحية والباب الثاني تناول مخلفات خطرة خاصة والثالث تطرق إلى عمليات الاستعادة للمخلفات الخطرة أما الباب الرابع فقد خصص للمعالجة الطبيعية والكيميائية والباب الخامس تناول العمليات الحرارية أما كلا من الباب السادس والباب السابع فقد خصصا لعمليات الردم الأرضي لاحتواء والتخلص من المخلفات الخطره وكذلك تقنيات الإصلاح.

ويستفاد بهذا المرجع في حل المشكلات المختلفة المتعلقة بالمخلفات الخطرة كل طبقاً لنوعيتها والطريقة المناسبة للمعالجة والتخلص الآمن. وذلك للعاملين في مجال شئون البيئة والصناعة والمنشآت العلمية والبحثية والطبية والإشعاعية.

والله (سأل أن) يتمحق ما نرجوه من (الإفراوة

المؤلف

مهندس إستشاري

محمد أحمد السيد خليل

تعريف المخلفات الخطرة وتأثيراتها الصحية

الفصل الأول:

تعريف وتصنيف المخلفات الخطرة

الفصل الثاني:

التأثيرات الصحية للمخلفات الخطرة

الفصل الأول

تعريف وتصنيف المخلفات الخطرة

1

المخلفات الخطرة باختصار هي أي مخلفات أو مجموعة من المخلفات التي يمكن أن تشكل خطورة حالياً أو في المستقبل للإنسان، للنبات أو الحيوان، ولذلك فهي التي لا يمكن تداولها أو التخلص منها بدون احتياطات خاصة. رغم أن هذا التعريف يفيد من وجهة النظر الأكاديمية إلا أنه غير مطبق من الناحية العملية. التعريف المدقق تم نشره بواسطة وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA). حيث في هذا التعريف يوجد طريقين لتعريف المادة الخطرة، وهما (١) وجودها في كشوف المخلفات الخطرة التي أصدرتها وكالة حماية البيئة الأمريكية والتي قامت بتحديثها أو (٢) أو أن المخلفات تكون قابلة للاشتعال، أو عدوانية (Corrosive) أو ذات تفاعلية (Reactive) أو سامة.

دلائل نظام وكالة حماية البيئة للمخلفات الخطرة:

كشوف المخلفات الخطرة تشمل المذيبات المهلجنة (Halogenated) أو غير المهلجنة، حمامات الطلاء الكهربائي، حمأة معالجة مياه الصرف من مختلف عمليات الإنتاج، ومنتجات عمليات التطهير المختلفة الثقيلة والخفيفة والجانبية، للقار. بعض المنتجات للكيماوية التجارية تعتبر من المخلفات الخطرة عند التخلص منها. وهذه تشمل المخلفات شديدة الخطورة مثل حامض الأرزنيك (Arsenic Acid)/ مركبات السيانيد، والعديد من المبيدات الحشرية، وكذلك المخلفات السامة مثل (البززين ، الفينول، التولوين، Creosote).

لقد تم تقسيم المخلفات الخطرة بواسطة وكالة حماية البيئة (EPA) إلى خمسة أقسام:

١. أنواع معينة من المخلفات من مصادر غير معينة، مثال ، المذيبات المهلجنة، المذيبات غير المهلجنة، حمأة الترسيب الكهربائي، محاليل السيانيد من حمامات الترسيب الكهربائي. هذه المخلفات أعطي لها رقم يبدأ بحرف (F) ضمن المخلفات الخطرة لوكالة حماية البيئة.

٢. أنواع معينة من المخلفات من مصادر معينة، مثال مخلفات الفرن من إنتاج مواد التلويين من أكسيد الكروم الأخضر وطين تنقية الماء المالح من عملية خلية الزئبق في إنتاج الكلور حيث لا تستخدم للتنقية المسبقة للماء المالح مستقلاً. تلك المخلفات

أعطي لها رقم الذى الذى يبدأ بالحرف (K) في المخلفات الخطرة لوكالة حماية البيئة.

٣. مواد معينة توصف بأنها مخلفات شديدة الخطورة التي يتم التخلص منها مثل أكسيد الزرنيخ، سيانيد البوتاسيوم الفضة، للتوكسافين. تلك المخلفات أعطي لها رقم يبدأ بحرف (P).

٤. مواد معينة تعرف بأنها مخلفات خطرة التي يتم التخلص منها ضمن المنتجات الكيميائية التجارية، مخلفات الأوعية، ومخلفات الطرطشة، وهذه تشمل رابع كلوريد الكربون، د.د.ت.، أكزايلين (Xylene)، وتلك المخلفات يعطي لها رقم يبدأ بالحرف (U).

٥. مخلفات مميزة، والتي هي مخلفات لم يتم تعريفها والتي تظهر خواص مثل القابلية للاشتعال، للعوانية، للتفاعلية، السمية.

المخلفات التي تظهر في واحد من للكشوف الموصفة من واحد إلي أربعة تسمى المخلفات المدرجة (Listed) تلك المخلفات المعلن أنها خطره بسبب خواص عامة والتي في القسم الخامس تسمى للمخلفات المميزة.

المخلفات المميزة: (Characteristic Wastes)

القابلية للاشتعال: (Ignitability)

يقال أن المخلفات الصلبة لا تظهر صفات القابلية للاشتعال إذا كانت عينة ممثلة للواقع من المخلفات لها الصفات الآتية:

١. كونها سائل وليست محلول مائي محتوي علي ما لا يقل عن ٢٤% بالحجم من الكحول وله نقطة وميض (Flash Point) أقل من ٦٠°م ، حيث نقطة الوميض هي درجة اشتعال البخار المنطلق.

٢. ليست سائل وقادرة تحت ظروف درجة حرارة وضغط قياسي أن تسبب الاشتعال خلال الإحتراق، إنتصاص الرطوبة، أو التغير الكيميائي الفوري، وعند الاشتعال تحترق بشدة ويستمرار مسببة خطورة.

٣. غاز مضغوط قابل للاشتعال.

٤. مؤكسد.

المخلفات الصلبة التي تظهر خواص القابلية للاشتعال أعطي لها رقم مواد خطره ضمن أرقام المخلفات الخطرة لوكالة حماية البيئة (EPA).

العوانية: (Corrosivity)

المادة للصلابة يكون لها خاصية العدوانية إذا كانت العينة الممثلة للواقع لها أحد الخواص الآتية:

١. كونها مائية (Aqueous) ولها رقم هيدروجيني (pH) يساوي ٢ أو أكبر من ١٢,٥ أو يساوي ١٢,٥.
 ٢. كونها سائل الذي يحدث تآكل للصلب بمعدل أكبر من ٦,٣٥ ملليمتر في العام عند درجة حرارة لختبار ٥٥°م.
- المخلفات الخطرة التي تتصف بالعدوانية أعطي لها رقم (DOO2) ضمن المخلفات الخطرة لـ (EPA).

التفاعلية: (Reactivity)

المخلفات الصلبة يكون لها خواص التفاعلية، إذا كانت عينة ممثلة للواقع من المخلفات التي لها الخواص الآتية:

١. ذات طبيعة غير مستقرة ويحدث لها تغير شديد بدون انفجار.
 ٢. تتفاعل بشدة مع الماء.
 ٣. تكون خليط متفجر مع الماء.
 ٤. عند الخلط مع الماء، تولد غازات سامة، أبخرة، أو دخان، بكمية كافية لإحداث خطورة علي الصحة العامة وعلي البيئة.
 ٥. كونها مادة سيانيد، أو مخلفات خاملة للكبريتيد (Sulphide Bearing) والتي عند التعرض لمستويات رقم هيدروجيني (pH) ما بين ٢، ١٢,٥ يمكنها أن تنتج غازات سامة، أبخرة، أو أدخنة بكمية كافية لإحداث خطر علي الصحة العامة والبيئة.
 ٦. كونها قادرة علي أحداث تفاعل انفجار عند التعرض إلي مصدر إثارة قوي أو عند التسخين تحت الحجز (Under Confinement).
 ٧. قادرة علي الانفجار أو التفاعل عند درجة الحرارة والضغط القياسي.
 ٨. تعرف بالمادة المتفجرة طبقاً لتعريفات تنظيمات النقل.
- المخلفات الصلبة التي تظهر خواص التفاعلية يعطي لها رقم مخلفات خطرة رقم (DOO3).

السمية: (Toxicity)

المخلفات الصلبة تظهر خواص السمية، طبقاً لطرق الاختبار القياسية، وإذا كان مستخلص عينة ممثلة للواقع من المخلفات يحتوي علي أي من الملوثات الموضحة في الجدول الآتي (١/١) بتركيز مساوي أو يزيد عن القيم الموضحة في الجدول.

جدول (١/١) : خواص المكونات المسامة ومستوياتها

الرقم (EPA)	المكون	المستوى ملجرام /لتر
Doo4	الزرنيخ Arsenic	5.00
Doo5	الباريوم Barium	100.0
Do18	البنزين (Benzene- C ₆ H ₆)	0.5
Doo6	الكاديوم Cadmium	1.00
Do19	رابع كلوريد الكربون (CCl ₄)	0.5
Do20	الكلوردين Chlordane	0.03
Do21	الكلوروبنزين	100.00
Do22	الكلوروفورم	6.00
Do23	O-Cresol	200
Do24	M-Cresol	200
Do25	P-Cresol	200
Do26	Cresol	200
Do27	1,4-Dichloro benzene	7.5
Do28	1,2-Dichloro ethane	0.5
Do29	1,1 -Dichloro ethylene	0.7
Do30	2,4-Dinitrotolunene	0.13
Do12	أندرين Endrin	0.02
Do31	هبتاكلور (Hepta Chlor, (Epoxide)	0.008
Do32	هكزا كلورو بنزين	0.13
Do33	Hexa chloro-1,3-Butadiene	0.5
Do34	Hexa chloroethane	3.00
Doo8	رصاص	5.00
Do13	لندين Lindane	0.4
Doo9	زئبق	0.2
Do14	ميثوكسي كلور	10.00
Do35	Methyl Ethyl Ketone	200

تعريف وتصنيف المخلفات الخطرة

2.00	نيترولينزين	Do36
100.00	Penta Chlorophenol	Do37
5.00	Pyridine	Do38
1.00	سيلينيوم	Do10
5.00	فضة	Do11
0.7	Tetrachloro Ethylene	Do39
0.5	Toxa phene	Do15
0.5	Trichloro ethylene	Do40
400	2,4,5- Trichloro phenol	Do41
2.00	2,4,6- Trichloro phenol	Do42
1.00	2,4,5-TP (Silvex)	Do17
2.00	Vinyl Chloride	Do43

عملية تعيين المخلفات الخطرة:

تعيين ما إذا كانت المادة من المخلفات الخطرة فإن الجدول (١/٢) يوفر الأسئلة التي يجب حلها لتعيين حالة المادة، البنود التالية تلخص متطلبات الإجابة عن الأسئلة الواردة في الجدول.

جدول (١/٢): الأسئلة لتعيين ما إذا كانت المادة خطرة.

١. هل للمادة من المخلفات الصلبة ؟
٢. هل المادة الصلبة لم يتم تعريفها في التنظيم؟

الفصل الثاني

التأثيرات الصحية للمخلفات الخطرة

Health Effects of Hazardous Wastes

2

١. مقدمة:

تقييم الأخطار الصحية من مواقع المخلفات الخطرة يتطلب عمل نوعين من التقييم وهما تقييم التعرض وتقييم السمية، تقييم التعرض يعرف بواسطة (EPA) أنه تعيين أو تقدير (نوعي أو كمي) لمقدار، تردد (Frequency)، فترة الاستمرار (Duration)، وطريق التعرض. يستخدم هذا التقييم لتوفير معلومات عن كمية للكميويات المعينة التي يتعرض لها الأشخاص القريبين من المخلفات الخطرة، ومدة التعرض، وكيفية التعرض عادة، وما إذا كان هذا التعرض خلال الابتلاع، الاستنشاق، أو الالتصاق بالجلد، الجزء الثاني من تقييم الخطر هو تقييم السمية، وهو تعيين الجرعة (كمية التعرض بالنسبة لوزن الفرد) لكل مادة كيميائية التي سوف تسبب نوع معين من التأثير الضار. علي الرغم من الأداء العادي نحو الإشارة إلى الكميويات السامة مقابل غير السامة، فإن المنطق الأساسي لعلم السموم (Toxicology) هو أن كل الكميويات تكون سامة عند جرعة معينة. هذا يشمل حتي الكميويات التي نحتاجها للحياة - الماء والأكسجين. لذلك، فإن تقييم السمية يصمم للإجابة علي السؤال "كيفية السمية". تقييم السمية معقد نظراً لكونه يتضمن عدد كبير من مختلف أنواع التأثيرات الضارة وكذلك بسبب تأثير زمن التعرض علي السمية. لذلك، فإن جرعة المادة الكيميائية قد تسبب نوع من التأثير عند إعطائه كنواء (Administered) الكل مرة واحدة بينما أن إجمالي الكمية عند إعطائها بجرعات صغيرة خلال العام قد تسبب تأثير مختلف وقد لا تسبب أي تأثير، في الماضي، عندما كان الاهتمام العام هو حول التأثيرات الفورية، مثل تلك التي تحدث مع السموم مثل السيانييد، فإن اختبارات تأثيرات الجرعات الفردية، المعروف باختبارات السمية الحادة، كانت تعتبر كافية.

قريباً، حدث تطوير نحو تأثيرات الجرعات المنخفضة لفترة زمنية طويلة، والمعروف بالسمية المزمنة (Chronic toxicity). نوع معين من التأثير المزمن، السرطان، الذي استحوذ علي الاهتمام. نتيجة لزيادة الاهتمام نحو تطوير تقنيات تقييم خطورة السرطان، وفي الواقع، فإن تقييم سمية السرطان تتم بطريقة مختلفة عن باقي الأمراض المزمنة مثل تلف الجهاز المناعي والعصبي، وكل من تلك الأنواع المختلفة من التقييم سيتم وصفها بالتفصيل.

١. تقييم التعرض:

توجد بعض الأمور التي يجب أن تراعى عند استخدام هذا التعريف، ماذا يعني بالتعرض؟ هل كمية الكيماويات التي تلتصق بالفرد؟ للكمية التي امتصها الجسم؟ أو الكمية التي تصل إلي مكان السمية؟ حالياً، للكمية التي تلتصق بالفرد هي المعيار المستخدم غالباً. ولكن، في بعض الحالات، كما في حالة التعامل مع تلوث التربة فإن الامتصاص خلال الجلد يمكن أن يؤخذ كذلك في الاعتبار.

الموضوع الثاني هو من الذى سيتم قياس تعرضه. كل فرد يمارس أنواع مختلفة من النشاط كل يوم حيث لا يوجد اثنين لهم نفس التعرض، من الواضح أن تعيين التعرض لكل شخص غير عملي، لذلك فإن ما تم إقراره بواسطة (EPA) لمواقع المخلفات الخطره هو لتعيين التعرض لأقصى تعرض معقول للفرد، هذه الفرضية بنيت علي أساس أن الغرض من تقييم الخطر هو لحماية الصحة وليس لتعيين ما هو الخطر لأي شخص أو مجموعة أشخاص.

علي هذا الأساس أمكن تقدير التعرض. هذا التقدير له عنصرين وهما تقدير تركيز المادة الكيماوية في البيئة والمتاحة للتعرض وتقدير سلوك ذلك الفرد. كلاهما لازم لحدوث التعرض. فمثلاً، قد تظهر الأبحاث عند موقع المخلفات الخطره أن المياه الجوفية تحتوى ما مقداره X جزء في المليون من مادة كيماوية. ولكن، في حالة عدم وجود فرد يستخدم هذا الماء أو يحتمل أن يستخدمه مستقبلاً عندئذ فإنه لا يوجد تعرض.

كيف يمكن تعيين التركيزات البيئية؟ في بعض الحالات، يمكن قياسها مباشرة، فمثلاً، مستوى الكيماويات في بئر المياه المنزلي أو في التربة في موقع المخلفات الخطره يمكن تعيينه بالتحليل المباشر. من الطبيعي أن هذا يوفر مقياس فوري للتركيز ولا يوفر معلومات عن حالة المستوي في الماضي، أو ما يمكن أن يكون في المستقبل. لعمل علاقة هذا المستوي لتعرض الناس، فإنه يفترض عموماً أن للتركيز المقياس عند الموقع يماثل ذلك الذى يتعرض له الناس.

الطريقة الثانية هي بتعيين التركيز البيئي بطريقة غير مباشرة باستخدام الانتقال البيئي والنماذج القدرية، في هذا النظام، تستخدم النماذج للتركيزات المنبعثة من المصدر لتقدير ما إذا كان التركيز المقابل أو سيكون عند مسافة وتجاه ما من المصدر وفي نفس الوقت في الماضي أو المستقبل.

مثال لهذه التقنية هو باستخدام نماذج انتشار وتشتت الهواء لتقدير تركيزات الهواء عند مسافات مختلفة من المصدر مثل المحرقة (Incinerator). طريقة تقييم التعرض التي توحد وتدمج التركيز البيئي والملوك هو باستخدام المؤشرات البيولوجية للتعرض

(Biomakers Or Biological Indicators) المثال الجيد للمؤشر البيولوجي هو مستوى رصاص الدم (Blood Lead Level).

وآخر هو تركيز المواد العضوية المستتدم في الدهون.

بيان بالمؤشرات البيولوجية العادية:

جدول (٢/١) المؤشرات البيولوجية للتعرض:

• مستويات رصاص الدم
• مستويات الكلور العضوي في الدهن (Organo Chlorine In fat)
• مستوى الفينول في البول.
• مستويات الزئبق في الشعر.
• مستويات أنزيم الشعر مثل (Chlorine strearate)
• نواتج إضافة DNA . DNA Adducts)
• نواتج إضافة البروتين

طبقاً لاستمرارية الكيماويات ذات الموضوع، فإن قياسات تحمل مثل هذا الجسم قد توفر معلومات تعرض بالنسبة لفترات التعرض المختلفة من الوقت. فمثلاً، نظراً لأن الرصاص يتخلص منه الجسم خلال عدة شهور، فإن مستويات الرصاص في الدم توفر فقط بيان عن التعرض الحديث. علي الجانب الآخر فإن بعض المواد العضوية قد تصير علي الاستمرار في الدهن لعدة عقود وإذا توفر معلومات عن التعرض لمدة طويلة. ولكن المستوي عند وقت معين لا يوفر معلومات حول ما إذا كان هذا التركيز نتيجة عن التعرض للقريب العالي، أو التعرض المنخفض لمدة طويلة، أو التعرض من أن لأخر للمستوي المتوسط، وهكذا. نظراً لأن المؤشر البيولوجي (Biomakers) لا يمكنه وصف التعرض الماضي أو التنبؤ بالتعرض المستقبلي، فإنه يكون محدوداً للاستخدام الحالي. هناك جهود مستمرة نحو تطوير مؤشرات حديثة للمستقبل. بيان بعوامل التعرض العادية في الجدول (٢/١).

المعلومات حول التركيز البيئي الذي يلتصق به الشخص أو المجموع وفر صفة السلوك يمكن تجميعهم لتقدير التعرض. المعادلات الصحيحة الموصي باستخدامها لحساب أنواع التعرض المختلفة (مثال) ابتلاع مواد للتربة (Soil Ingestion).

الجدول (٢ / ٢) فرضيات التعرض القياسي السكني للبالغين

المعيار	القيمة
وزن الجسم	٧٠ كيلوجرام
متوسط العمر (Lifetime)	٢٠ عام
معدل التعرض	٣٠ يوم/العام
شرب الماء	٢ لتر/اليوم
حجم الاستنشاق	٢٠ متر مكعب/ اليوم
ابتلاع مواد التربة	١٠٠ مليجرام/اليوم

$$AD = \frac{CS \times CF \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

حيث:

AD = الجرعة الممتصة

CS = التركيز في التربة

CF = معامل التحويل

SA = مساحة سطح الجلد المعرض

AF = معامل التصاق مادة التربة مع الجلد

ABS = معامل الامتصاص

EF = معدل التعرض

ED = مدة التعرض

BW = وزن الجسم

AT = متوسط الوقت

معادلة لحساب التعرض خلال التصاق التربة:

يلاحظ أن عدداً من المعايير بخلاف تلك التي في الجدول (٢/٢) يلزم توفيرها لتمثل هذه الحسابات (مثال، معامل امتصاص التربة) . بيان الامتصاص البشري للتربة ليس متاحاً بالنسبة لمعظم الكيماويات، لذلك فإنه يتم عمل فرضيات عامة، مثل ٥٠% امتصاص. تلك المعادلات تم انخالها في برنامج الكمبيوتر بما يمكن المستخدم من

توصيف كلا من التركيزات البيئية والملوكيات. البرامج عندئذ تحسب قيم التعرض للمستخدم المبنية علي تلك البيانات. عموماً نتائج الحسابات تكون متوسط الجرعات اليومية أو متوسط الجرعات اليومية للفترة العمرية. القيمة الأخيرة تستخدم في تقييم أخطار السرطان ونشر الجرعة المحسوبة خلال كل الفترة العمرية للفرد. فمثلاً، إذا كان التعرض يفترض استمراره ٣٠ سنة و الفترة العمرية يفترض ٧٠ سنة، فإن متوسط الجرعات اليومية يتم ضربه في $3 \div 7$ لتعيين المتوسط اليومي للجرعة خلال الفترة العمرية.

تقدير السمية: (Toxicity Assessment)

كما تم توضيحه في مقدمه، فإن السمية المزمنة (Chronic) هي ذات العلاقة الوطيدة في مواقع المخلفات الخطره، لذلك فإنه سوف يتم التركيز علي هذا النوع من التأثير. السمية الحادة سوف لا يتم عنوانها. حيث يوجد العديد من التأثيرات المزمنة الممكنة فإن الطريقة العادية هي تقسيمهم إلي قسمين وهما ذات لتأثيرات المسرطنه وغير المسرطنه. هذا التنوع الثنائي (Dichotomy) تم عمله منذ حوالي ٢٠ عام بناءً علي فكرة أن السرطان هو تأثير بدون بداية (Non Threshold Effect)، بينما باقي التأثيرات المزمنة لها بداية، إذا كانت المادة الكيماوية ليس لها بداية فإن أي كمية من هذه المادة يمكن أن تسبب تأثير، وإذا كانت المادة لها بداية، عندئذ فإنه يوجد مستوي الذي دوله سوف لا يسبب تأثير. الفكرة أن السرطان هو ظاهرة ليس لها بداية بنيت علي دراسات الإشعاع، التي اقترحت أنه حتي أصغر كمية من الإشعاع يمكن أن تسبب السرطان.

هذا التقسيم الثنائي ما زال قائماً حتي الآن، ذلك رغم وجود شواهد التي تبين أن (١) ليس كل المسرطنات تعمل بنفس طريقة الأداء ولذلك فإن البعض علي الأقل يهتم أن يكون له بداية و (٢) بعض غير المسرطنات لا تبدي أن لها بداية. في الواقع، النوع الأول من الشواهد هو الأساس لبعض التوصيات للتغيرات في تقدير أخطار السرطان التي تم الموافقة عليها أخيراً، ولكن فإنه عملية تقدير معالجة السمية الآتية سوف تتبع العمليات المقبولة بواسطة وكالة حماية البيئة (EPA).

وهذه تشمل تمييز البداية / غير البداية.

غالباً كل تقديرات السمية المزمنة مبنية علي دراسات معملية طويلة علي الحيوانات أساساً الفئران، تلك التجارب توفر الفرصة لاختبار كل مادة كيماوية وبطريقة محكمة. لعمل هذه الدراسات، فإنه يتم تقسيم الحيوانات إلي عدد من مجموعات الجرعة ومجموعة التحكم (الجرعة صفر)، وكل مجموعة تعطي مجموعة جرعة علي أساس يومي لفترة زمنية. بمقارنه النتائج في مختلف مجموعات الجرعة، فإنه يمكن تعيين العلاقة السببية (Causality) بين المادة الكيماوية والتأثير.

تستخدم كذلك الدراسات الوبائية (Epidemiological) لتقدير السمية ولكن أساساً بطريقة نوعية لتأكيد أن العلاقة الموجودة في الحيوان بين المادة الكيماوية والتأثير تحدث كذلك في الإنسان، ولكن رغم صعوبة عمل نوعية مقترنة، حيث كل إنسان يكون معرضاً لكثير من الكيماويات خلال كل يوم . في الواقع العلاقة التي تم إقرارها تم بنائها على أساس دراسات مهنية حيث العمال يكونوا معرضين لتركيزات عالية معلومة على أساس منتظم مع اعتبار هذه المحددات فإنه ليس من المدهش أن دراسات علم الأوبئة نادراً تقترح علاقه بين التعرض البيئي والتأثيرات الضارة وغالباً لا توفر تقدير كمي جيد للجرعات المطلوبة لحدوث تأثيرات ضارة معينة.

تقييم التأثيرات الصحية غير السرطانية:

Assessing Non Carcinogenic Health Effects:

كما تم الإشارة إليه سابقاً، فإن دراسات رد فعل ونتيجة الجرعة لمدة طويلة تكون مطبقة على الحيوانات، عموماً للعديد من مختلف الأنجاس لتقييم الكيماويات غير السرطانية. نتائج تلك الدراسات يتم توقعها ولأغراض تقييم السمية فإنه يتم اختيار نقطة واحدة على هذا المنحني. هذه القيمة الواحدة هي غالباً أعلا جرعة والتي عندها يتم ملاحظة أي تأثيرات ضاره. وهذا ما يعرف بعدم ملاحظة مستوي تأثير ضار (No Observed Adverse Effect Level (NOAEL). عند ملاحظة تأثيراته عند كل الجرعات التجريبية، عندئذ يكون من الضروري استخدام قيمة مختلفة، أدنى مستوي تأثير لوحظ (The lowest Observed Effect Level) - (LOEL)، أو أدنى مستوي تأثير ضار تم ملاحظته (The lowest Observed Effect Level) - (LOEL).

لأغراض تقييم السمية، فإن أنواع الحيوان الأكثر حساسية لتأثيرات المادة الكيماوية يتم اختيارها كبديل للإنسان (Human Sarrogate). لذلك، فإن أدنى (NOAEL) أو (LOEL) وجدت في دراسات الحيوان يتم استخدامها لتقدير سمية المركب بالنسبة للإنسان. ولكن فإن كلا من (NOAEL'S) أو (LOAEL'S) توفر معلومات حول الجرعة الكيماوية فقط والتي تسبب تأثيراً معيناً في الحيوان الذي تم دراسته، بينما الغرض الرئيسي من الدراسة هو لتقدير السمية للإنسان. كيف أن النتائج من الحيوان يتم استنتاجها للإنسان؟ حالياً، الطريقة القياسية هي بقسمه (NOAEL) أو (LOAEL) على الكميات الآمنة أو العوامل غير المؤكدة لتعيين مستوي آمن للإنسان. هذا المستوي ليس إنسانياً (NOAEL) أو (LOAEL) فهم والمستوي المقصودية توفير مجال كبير لتأمين الإنسان. لذلك، فإن التعرضات التي أعلا من المستوي الآمن مباشرة لا يتوقع أن تنتج سمية، ولكن، التعرضات الكبيرة تكون لازمة لإحداث التأثيرات السامة.

عوامل الأمان أو الشك المستخدمة موضحة في الجدول (٢/٢) . كما يلاحظ تلك العوامل تراعي الفرق في الحساسية بين تلك الحيوانات والإنسان، أكبر مقدار وراثي (Greater Genetic)، الاختلافات الأخرى للسكان مقارنة بالملاط الطبعية للحيوان، فترة إجراء التجربة، نوع التجربة، وما إذا كان تم استخدام (NOAEL) أو (LOAEL) باستخدام كل تلك العوامل يمكن أن ينتج عنه مستوي آمن، الذي هو أقل منات أو آلاف أو عشرات الآلاف أضعاف عن مستوي التأثير في الحيوانات التي تم دراستها.

جدول (٢/٣) معاملات القياسية للأمان / وعدم التحقق (الشك)

معامل	منطقي (Rational)
إقسم علي ١٠	• الاستنتاج الاستقرائي الحيوان إلي الإنسان بالنسبة للفرق في الحساسية
اقسم علي ١٠	• الاستنتاج الاستقرائي الحيوان إلي الإنسان بالنسبة لزيادة المتغيرة (Variability) للإنسان
اقسم علي ١٠	• الاستنتاج الاستقرائي للفترة العمرية لمدة طويلة للدراسات أقل من الفترة العمرية
اقسم علي ١٠	• الاستنتاج الاستقرائي (LOAEL) إلي (NOAEL) للاستخدام عند اتاحة (LOAEL) فقط
اقسم علي حتي ١٠	• دراسة النوعية لتفسير النقص في البيانات المتاحة

هذا المستوي الآمن أعطي له العديد من الأسماء في الأصل فقد عرف بأنه الأخذ أو الامتصاص (Intake) اليومي المقبول ويرمز له بالرمز (Acceptable Daily Intake-ADI)، ولكن هناك العديد من الأسماء الأخرى المستخدمة متضمنة الأخذ اليومي الذي يمكن تحمله (TDI) (Tolerable)، أدنى مستوي للخطر (MRL-Minimum Risk Level) والجرعة العيارية (ADI-RFD-Reference Dose) هي المقدار المستخدم بواسطة منظمة الصحة العالمية (WHO)، (TDI) بواسطة الحكومة الكندية، MRI بواسطة وكالة الولايات المتحدة للمواد السامة والأمراض وتسجيلها، (RFD) بواسطة وكالة حماية البيئة (EPA) رغم أن كل تلك الوكالات تستخدم نفس الطريقة لإنتاج تلك المستويات الآمنة، عادة توجد اختلافات بين المنظمات في القيم التي تم لختيارها. وهذه الاختلافات تكون عموماً بسبب الدراسات التي تم لختيارها كوحدة انتقائية لتعيين (NOAEL'S) أو (LOAEL'S)، رغم أنهم كذلك قد يكونوا نتيجة سيامة فرضيات مختلفة.

في معظم الحالات، يكون (RFD) هو المستوي الآمن المستخدم في تقدير الأخطار الصحية من الكيماويات غير المسرطنة عند مواقع المخلفات الخطره (RFD) يعرف

بواسطة (EPA) بأنه تقدير للتعرض اليومي للسكان (بما فيهم المجموعات الحساسة) الذين من المحتمل أن يكونوا بدون أى مخاطره ضارة خلال الفترة العمرية.

تقدير التأثيرات الصحية المسرطنة:

Assessing Carcinogenic Health Effects:

حيث أن أصغر جرعة من المادة المسرطنة (Carcinogen) يعتبر أنها قادرة على تسبب السرطان، فإنه ليس من الممكن وضع مستوى آمن لهذا النوع من الكيماويات كما نفعل بالنسبة للمركبات غير المسرطنة. الطريقة البديلة التي تم اختيارها هي بتعيين الأخطار السرطانية المرتبطة بكل جرعة من المادة الكيماوية، المعروف كذلك بقوة وفعالية (Potency) المادة المسرطنة. الطريقة المستخدمة لتقدير القوة والفعالية تم تطويرها إلى حد ما استجابة لقرار في سبعينات القرن الماضي لاعتبار أن حالة واحدة من السرطان لكل مليون معرضين لتكون هي أقصى جرعة مقبولة.

نظراً لأنه ليس عملياً دراسة الملايين الكثيرة من الفئران اللازمة لتعيين خطورة مستوى واحد على مليون عند العلامة ذات العلاقة بالبيئة، فإن القرار كان باستخدام نظام تجريبي مصمم لتنظيم لمكانية اكتشاف السرطان في حالة حدوثه. البروتوكول الذى تم اختياره كان تبني نظام اختبار تم تطويره الذى استخدم جرعات عالية جداً من الكيماويات للتعين النوعي ما إذا كانت الكيماويات يمكنها أن تسبب السرطان من عدمه، في هذا النظام يتم تعريض مجموعتين أو ثلاثة من كل جنس (٥٠ لكل مجموعة) خلال مدى الحياة (Lifetime) لأعلى جرعات يومية للمادة الكيماوية التي يمكن تحملها بدون سمية حادة للحيوان. وهذا ما يعرف بأقصى جرعة محتملة (MTD-Maximum Tolerated Dose). بالإضافة إلى النوع والسلالة (Species and Strains) للحيوانات المعرضة للسرطان فإنه عادة يتم اختيارهم كحيوانات تجارب. هذا البروتوكول يتوقع أن ينتج حدوث سرطان خطير في اختبار الأعداد (Test Population) (مثال أكثر من ٣٠%) إذا كانت كيماويات الاختبار مسرطنة.

إذا كانت نتائج الدراسة أظهرت أن تلك الجرعات العالية تسبب السرطان، عندئذ توجد مشكلة نحو كيف أن تلك النتائج التجريبية يمكن تطبيقها على الإنسان. هذا يتطلب قرارات كيف سوف يتم استنتاج الجرعات للتجريبية العالية إلى أسفل نحو الجرعات المنخفضة نسبياً ذات شأن بيئي وكيف يتم أفضل استدلال للتأثيرات على الإنسان من تلك التي لوحظت في حيوانات التجارب. نظراً لأن عملية تكوين السرطان ليست مفهومة بدرجة كافية، فإنه لم يكن من الممكن استخدام المعلومات البيولوجية في تطوير استنتاج طريقة الجرعة من العاليه إلى المنخفضة. البديل، الطريقة التي استخدمها (EPA) هي

ببساطة بناء رياضي حيث واحد من البناءات المحتملة. هذا البناء يعرف النموذج الخطي متعدد المراحل (LMS) Linearized Multistage Model) فقد تم اختياره لتقدير مقدار الفعالية (Potency Value) الذي يوفر أكبر مجال للأمان بالنسبة للمجازفة المقبولة لسرطان إضافي واحد في مليون من الأفراد المعرضين. في الواقع، للزيادة الإضافية لمجال الأمان هنا، فإن حد الثقة العلوي ٩٥% من منحنى الاستقراء القياسي يستخدم لتعيين مقدار الفعالية.

الاستقراء القياسي (Extrapolation) للنتائج من الحيوانات إلى الإنسان هي كذلك ليس لها أساس علمي قوي. فقد اختارت (EPA) استخدام نسبة المساحة السطحية لحيوان الاختبار إلى تلك للإنسان كأساس للاستقراء، بينما بعض الوكالات الأخرى مثل (FDA) تعتقد أن نسبة أوزان الجسم هي الأكثر ملاءمة. عموماً نتائج طريقة (EPA) بالنسبة لفعالية السرطان كانت حوالي معامل عشرة أعلا من طريقة (FPA) ولذلك يمكن اعتبارها أنها تمثل تهديد نحو مجال إضافي في الأمان.

تأثير النموذج المختار على الجرعة التي حسب إنتاج خطر معين للسرطان لمادة كيميائية واحدة، دايوكسين (Dioxin) موضح في الجدول (٤/٢) التالي:

جدول (٤/٢) الفترة العمرية لجرعة الدايوكسين لتسبب سرطان إضافي في مليون من الأشخاص المعرضين

الجرعة بيكوجرام/الكيلوجرام/اليوم	المنظمة
٠,٠٠٦	الوكالة الأمريكية لحماية البيئة (U.S.EPA)
٠,٠٠٧	كاليفورنيا
٠,٠٣	المركز الأمريكي لمقاومة المرض
٠,٠٦	إدارة الغذاء والدواء الأمريكية
١,٠٠	ألمانيا الغربية
٢,٠٠	ولاية نيويورك
٤,٠٠	نيزرلاند
١٠,٠٠	الخدمة الصحية والاجتماعية بكندا
١٠٠ × ١٠	الببوكوا/مليون مليون = ١٠ × ١٠

كما هو ملاحظ في الجدول، فإن مجال الجرعة المرتبط بمستوي معين من الخطورة المقدر بواسطة مختلف الحكومات يمكن أن يختلف بمقادير كبيرة وتمثل (EPA) النهاية المنخفضة للمجال. وهذا يعكس مجالات الأمان المبني على الفرضيات حول الجرعة العالية إلى المنخفضة والاستقرار من الحيوان إلى الإنسان. كل مستويات تلك

الجرعات مبني علي نفس التجربة، حيث أن الاختلافات في الفاعلية المقدره تعكس بوضوح سياسة وليست علم.

لقد نشرت (EPA) عوامل فاعلية السرطان التي أوصت بها لمختلف الكيماويات في قاعدة بيانات الكمبيوتر.

علم الأوبئة: (Epidemiology)

عادة المواطنون الذين يعيشون حول مواقع المخلفات الخطره مطلبهم هو أن يتم استخدام دراسات علم الأوبئة لتحيين ما إذا كانت هناك علاقة بين الموقع والآثار الصحية الضارة. في كثير من الحالات يسيروا إلي عدد من حالات السرطان أو العيوب الخلقية في الموليد في عدد من أسرهم أو في الأسر المجاورة لتأكيد شكاوهم. لسوء الحظ، أنه من النادر إمكانية عمل دراسات علم الأوبئة المفيدة علي مثل هذا التجمع السكاني.

المشكلة هي أن عدد قليل نسبياً من الناس يمكن أن يوجد قريباً من موقع معين. بسبب التغير الإحصائي، يكون من الصعب اكتشاف زيادة في أي نوع من التأثير الصحي علي مثل هذا التعداد الصغير، هذا واقع خاصة للسرطان ، حيث خلفية معدل الحدوث هو ما بين واحد في ٤ وواحد في ٣٠. لذلك، فإن للزيادة الصغيرة ليس من المحتمل القدرة علي اكتشافها إلا في حالة أن يكون السرطان من النوع النادر جداً.

في الواقع ، مع هذا العدد القليل من السكان، فإن أي تأثير معقول من المحتمل أن يحدث بنسبة عالية للسكان لإنتاج علاقة إحصائية هامة ومميزة. في هذه الحالة، فإنه لا تكون هناك حاجة لتحاليل متطورة لعلم الأوبئة.

رغم تلك المشاكل، يوجد العديد من دراسات علم الأوبئة التي نفذت عند مواقع المخلفات الخطره حول بعض المدن. وهذه للدراسات نادراً ما كانت قادرة علي توفير شواهد لأي علاقة بين حالات التعرض للكيماويات عند الموقع والتأثيرات الصحية الضارة. ولكن في حالات قليلة حيث تم اقتراح علاقة، كان التأثير دقيق، وورود المخاطر تم استبيانها بكثير من علماء الأوبئة.

تقييم مجموع التعرض والسمية:

Combining Exposure and Toxicity Assessments:

لمعرفة وتمييز الأخطار الصحية علي الإنسان، فإن تقديرات التعرض والسمية يتم جمعهم معاً. هذا الوصف يتم تنفيذه بتميز في حالات عدم للتسرطن والتسرطن، في حالات عدم للتسرطن التعرض المحسوب (الجرعة) لكل مادة كيماوية عند موقع المخلفات الخطره تقارن بالمستوي الآمن، و (RFD) لتلك المادة الكيماوية، لتحيين مدى حدوث تهديد

لصحة الإنسان. يتم هذا عادة باستخدام المسمى مؤشر الخطورة (Hazard Index) الذي هي مجرد النسبة ما بين التعرض المقدّر إلى المستوي الآمن. إذا كان مؤشر الخطورة أعلا من الولحد الصحيح، عندئذ فإن التأثيرات الصحية لتلك المادة الكيميائية تعتبر غير مقبولة. في حالة المواد المسرطنة (Carcinogens)، نستخدم طريقة مختلفة، التعرض المقدّر (الجرعة) لكل مادة كيميائية عند موقع المخلفات الخطره يتم ضربها في معامل التفاعلية (Potency Factor) لتلك المادة الكيميائية لحساب عدد السرطانات الإضافية المتوقعة لألف أو مليون من الأفراد المعرضين. للمواقع ذات التكلفة العالية (Super Fund) فإن سياسة (EPA) هو أن أخطار سرطان إضافية من واحد في عشرة آلاف إلى واحد في المليون تكون مقبولة.

يجب ملاحظة أنه بينما يوجد عادة ودائماً خليط من للكيمائيات في الموقع، فإن تقييم السمية يتم تعيينه على المادة الكيميائية على أساس كيميائي. عموماً، فإن التفاعل بين الكيمائيات يتم تجاهله في عملية التقييم. إذا تم أخذ هذه التفاعلات في الاعتبار، فإن السمية يتم افتراضها عادة لتكون إضافية تماماً. رغم أن هذا يمكن أن يكون مناسباً للمركبات التي تعمل بنفس آلية السمية، الإضافية قد لا تناسب حالات أخرى.

للطرق السابقة لخطورة السرطانات والغير سرطانات هي تلك المستخدمة عادة لتعيين المستويات البيئية المقبولة، بما فيها تلك عند مواقع المخلفات للخطره.

مخلفات خطرة خاصة

الفصل الثالث:

الزيت العادم

الفصل الرابع:

الباي فينيل عديد الكلوره

الفصل الخامس:

إدارة المستوى المنخفض للمخلفات المشعه

الفصل الثالث

الزيت العادم

Waste Oil

3

١. مقدمة:

الزيت العادم يعني به زيت التزليق الذي أتم دورة الاستخدام حيث يجب إما أن يتم التخلص منه أو معالجته لإعادة الاستخدام. مصطلح للزيت العادم يشمل عادم زيوت تزليق المحركات، عادم للزيوت الصناعية المستخدمة في التزليق، التبريد، وفي بعض العمليات.

الأثر البيئي لتلك الزيوت المستخدمة هي أن الزيوت يمكن أن تتلوث أما خلال الاستخدام أو من مصادر خارجية. التلوث يمكن أن ينتج من تغيرات طبيعية أو كيميائية للمكونات أو بالخلط مع مخلفات خطره خلال النقل أو التخزين.

٢. خواص الزيت العادم:

زيوت المحركات والزيوت الصناعية تتكون من مواد عضوية أساسية وإضافات. تلك المواد العضوية تشمل مئات أو آلاف من المكونات العضوية والتي يكون معظمها من المركبات (Poly Nuclear Aromatics). الإضافات التي تصل إلى ١٥% من حجم الزيت تحتوي مكونات غير عضوية مثل الكبريت، النيتروجين، آثار معدنية، لقد ثبت وجود مركبات إضافية مثل المذيبات المكلورة في عينات من الزيت العادم. وجود تلك المركبات التي يشك في أنها مسرطنة ومسببة للطفر الوراثي (Mutagens) والتي تشمل المركبات الأروماتية عديدة النويات، المواد العضوية المهلجنة، الآثار المعدنية الناتجة عن بري أجزاء المعدن، من بين تلك المعادن الزنك، الكروم، الألومنيوم، الباريوم.

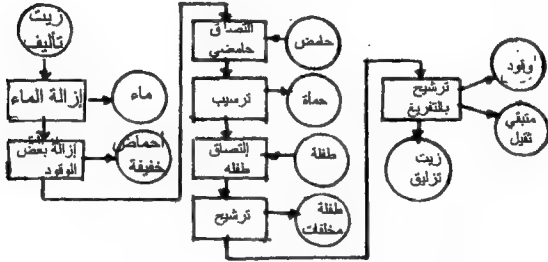
٣. عمليات التلوير والتخلص:

عملية تصنيع الزيت العادم لإنتاج الوقود تتم خلال مراحل معالجة مثل الترسيب، الترشيح، التجفيف (إزالة المياه) لإنتاج منتج يمكن استخدامه كوقود للغلايات.

٤. كل عمليات التنقية تبدأ بخطوة التقطير لإزالة المياه والمواد الخفيفة:

لقد استخدمت عملية التنقية بطريقة الحامض-الطفلة ولكن توقف استخدامها حالياً.

الخطوة الاولى هي خلط الزيت العادم مع حامض الكبريتيك لازالة معظم الملوثات الناتجة عن الإضافات. مع المواد غير العضوية مثل الآثار المعدنية تكون مركبات الكبريتات غير المذابة التي ترسب. يتم عندئذ المعالجة بالطفلة لإحداث التعادل وتحسين اللون والرائحة. مخطط لتلك العملية موضح في الشكل (٣/١).



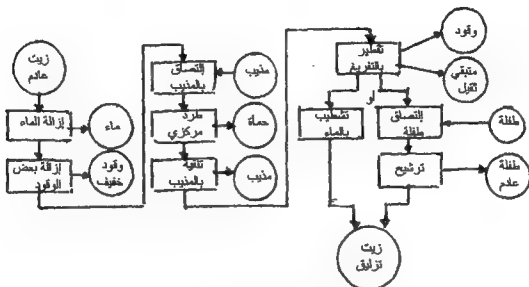
شكل (٣/١): عملية التنقية بالحامض - الطفلة

عملية المعالجة الأخرى تستخدم التقطير بالتفريغ مع معالجات مسبقة أخرى لإنتاج زيت تزليق.

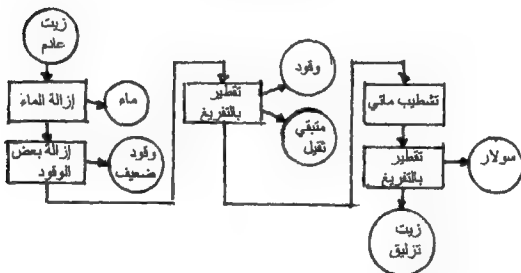
المعالجة المسبقة باستخدام مجموعة من المذيبات مثل (Methyl Ketone, Butyl Alcohol) لإذابة زيت التزليق وإزالة الملوثات المسؤولة عن التراكبات البكتيرية في مراحل التقطير التالية.

التقطير بالتفريغ عند درجات حرارة وضغوط معينة يوفر للفصل لزيت التزليق من الوقود الأخف وكذلك المخلفات الثقيلة.

عند الحاجة، المزلق الذي تم تنقيته يتم تلميعه باستخدام إما الالتصاق بالطفلة (Clay Conlacting) أو باستخدام عامل وسيط (Hydro finishing) لإزالة الملوثات المتبقية وتحسين نوعية القبول للمنتج. مخطط لعمليات التنقية الإضافية موضح في الشكل (٣/٢)، (٣/٣).



شكل (٣/٢): عملية التنقية بالتشطيب بالمذيب والتقطير



شكل (٣/٣): عملية التنقية بالتقطير والتشطيب المائي

الفصل الرابع

مخلفات الباى فينيل عديدة الكلورة

PCB Wastes

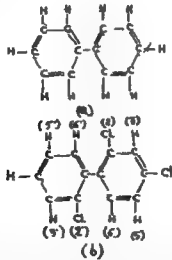
4

١. مقدمة:

مخلفات (Poly Chlorinated of Biphenyls) لها خواص مفيدة كثيرة. فهي مواد شديدة الثبات، وذات ضغط بخار منخفض، قابلية منخفضة للاشتعال، لها طاقة حرارية عالية، وتوصيل كهربى منخفض، وعزل كهربى عالى. ولكن لسوء الحظ تلك الكيماويات يمكن أن تصل إلى جسم الإنسان من خلال الجلد، للرئة، والقناة الهضمية، كما أنها تتراكم في الأنسجة الدهنية. ولقد ثبت أن (PCB's) يمكن أن تسبب تأثيرات ضارة نحو الإخصاب، وسمية، الورم الخبيث عند الإنسان. كما أن تلك المواد تميل إلى التراكم البيولوجي في السلسلة الغذائية. بسبب تلك التأثيرات الصحية والبيئية الخطره فإن الاستخدام والتخلص من تلك المواد منظمة بشدة وحزم.

٢. الاستخدام التاريخي لـ (PCB's):

الشكل (٤/١) يبين البناء الجزيئ لجزيئ الباى فينيل. استبدال الكلور يمكن أن يحدث عند أي واحد أو أكثر من الأماكن المشيرة المرقمة، نتيجة لذلك فإنه يوجد ٢٠٠ صنف من الكيماويات والتي تقع كلها تحت للتصنيف العام الـ (PCS's).



شكل (٤-١): بناء جزيئ الباى فينيل عديدة الكلورة

(أ) جزيئ الباى فينيل، (ب) تراى كلورو باى فينيل

قبل قيام وكالة حماية البيئة بتنفيذ التحكم في إنتاج واستخدام (PCS's) ، فإن تلك الكيماويات استخدمت في التطبيقات الموضحة في الجدول (٤ / ١) .

جدول (٤ / ١) استخدام كيماويات (PCS's)

١- المحولات
٢- المكثفات
٣- الملدنات
٤- الموائع الهيدروليكية والمزلقات
٥- نسخة ورقية بدون كربون
٦- موائع الانتقال الحرارى
٧- إضافات بترولية

بسبب خواص العزل الكهربى الممتازة لتلك المواد فإن أكبر استخدام لها هو المعدة الكهربائية، كما هو موضح في الجدول (٤ / ٢) فإن موائع العزل الكهربى لتلك المواد تسم تسويقها تحت أسماء تجارية مختلفة في دول مختلفة.

جدول (٤ / ٢) الأسماء التجارية لموائع العزل الكهربى المحتوية على (PCB's)

إيطاليا	Apirollo
أمريكا - بريطانيا	Aroclor
اليابان	Aroclor B
الاتحاد السوفيتي	Sorol
كندا	Pyronol
فرنسا	Phenoclor

في عام ١٩٧١ قامت منظمة حماية البيئة بحظر تصنيع استخدام (PCB's) . وفي عام ١٩٧٨ كان هناك استثنائين (١) حيث يمكن استخدام (PCB's) في شكل مغلق كلية .

(٢) الاستخدام بما لا يسبب أى ضرر للصحة العامة أو للبيئة.

القواعد لتنظيم التحكم في المواد السامة وكل أشكال مجموع الكيماويات التي تحتوى جزئ (Biphenyl) مع واحد أو أكثر من استبدال ذرة الكلور، وهي تنطبق ليس فقط على كيماويات PCB نفسها ولكن كل ما هو ملتصق بها مثل الأوعية، الأنابيب ، والمعدات الكهربائية.

مجالات التركيز هي الأساس الهام نحو تعيين كيفية تدلول المخلفات المحتوية على (PCB's). توجد ثلاث تركيزات مقترحة على الأساس الجاف.

١. أقل من ٥٠ جزء في المليون:

التخلص من المخلفات ذات المحتوى أقل من ٥٠ جزء في المليون ليس له قيود.

٢. من ٥٠ إلى ٥٠٠ جزء في المليون.

للملوثات عند هذا المستوى المتوسط، حيث توجد بدائل كثيرة للتخلص .

٣. أكبر من ٥٠٠ جزء في المليون.

الملوثات أكبر من ٥٠٠ جزء في المليون تتطلب الارتباط لمعظم متطلبات التخلص الآمن.

٣. طرق التخلص من (PCB's) المقبولة:

الجدول (٤/٣) به بيان طرق التخلص التي يمكن استخدامها لمختلف أنواع مواد (PCB's). وسيتم وصف كل طريقة من تلك الطرق.

جدول (٤/٣) الطرق المسموح بها للتخلص من (PCB's)

نوع مادة (PCB)	محرقة PCB	PCB غلاية عالية الكثافة	الردم PCB الارضي	صرف المخلفات السائلة والتخلص منها
السائل من PCB's أكبر من ٥٠٠ جزء في المليون من ٥٠٠-٥٠ جزء في المليون	✓ ✓	✓	✓	
غير سائل (ترية، أمشاب، ملوثات) أكبر من أو يساوي ٥٠ جزء في المليون	✓		✓	
PCB المحولات أكبر من أو يساوي ٥٠٠ جزء في المليون من ٥٠-٥٠٠ جزء في المليون	✓		✓	✓
PCB المكثفات ك ٥٠٠ جزء في المليون من ٥٠٠-٥٠ جزء في المليون	✓ ✓		✓	
المحركات الهيدروليكية المحتوي علي PCB ك ٥٠ جزء في المليون				✓
مواد PCB أخرى ك ٥٠٠ جزء في المليون من ٥٠٠-٥٠ جزء في المليون	✓		✓	✓
أوصية PCB ك ٥٠٠ جزء في المليون من ٥٠٠-٥٠ جزء في المليون	✓		✓	✓
كل باقي PCB's ك ٥٠٠ جزء في المليون	✓			

أ. محارق (PCB):

المحارق عالية الكفاءة هي التي يمكن استخدامها لتدمير (PCBs) عند تركيز أكبر من ٥٠ جزء في المليون. المحارق التي تقوم بحرق سوائل PCB يجب تحقق زمن مقداره ٢ ثانية عند درجة حرارة 1200 ± 100 م°، ٣% أكسجين أو زمن مقداره ١,٥ ثانية عند 1600 ± 100 م° و ٢% أكسجين زائد في غاز المدخنة. في أى حالة ، فإن كفاءة الحرق لتلك المحارق يجب أن تكون ٩٩,٩ % علي الأقل.

المحارق المستخدمة لحرق مواد PCB غير السائلة معرضة فقط لمعايير انبعاث الهواء والتي توصف بأن الانبعاثات لا يمكنها أن تزيد عن واحد ملليجرام علي الكيلوجرام (جزء في المليون) من PCB الذي يدخل المحرقة وكذلك فإن كفاءة الحرق تعادل ٩٩,٩٩٩ %.

ب- غلايات PCB عالية الكفاءة:

القواعد البيئية تسمح للسوائل المحتوية علي (PCB) بتركيزات من ٥٠ إلي ٥٠٠ جزء في المليون بأن يتم للتخلص منها في غلاية عالية الكفاءة. الغلاية يجب أن ينطبق عليها الآتي:

- يجب أن تكون بمعدل لا يقل عن ١٤,٦ ميجاوات (٥٠ مليون وحدة حرارية في الساعة).
- للغلايات التي يتم اشعالها بالغاز أو الزيت يكون تركيز أول أكسيد الكربون في الغاز للعادم أقل من ٥٠ جزء في المليون.
- للغلايات التي تعمل بالفحم لا يزيد أول أكسيد الكربون في المدخنة عن ١٠٠ جزء في المليون.
- الأكسجين للزائد يجب ألا يقل عن ٣%.
- لا يمكن أن تزيد المخلفات عن ١٠% بالحجم من إجمالي الوقود المستخدم في الغلاية.
- تتم تغذية المخلفات فقط للغلاية عند درجة حرارة التشغيل وليس مع البدء أو للتوقف.

ج- الردم الأرضي لـ (PCB):

الردم الأرضي للمخلفات مع مستويات PCB أقل من ٥٠ جزء في المليون فإنه يجب أن يتحقق الآتي:

- وجود بطانة أو تربة سفلية ذات نفاذية لا تقل عن 10^{-7} سم/ث.

- قاع الردم الأرضي يجب أن لا يقل عن ١٥,٢ متر (٥٠ قدم) فوق منسوب المياه الجوفية.
 - يجب توفير آبار رصد في الموقع ونظام تجميع الصرف.
 - بالإضافة إلي أن كتلة سوائل PCB يجب أن تتم لها المعالجة المسبقة أو التثبيت بحيث يتم عدم وجود سوائل حرة.
 - أوعية سوائل PCB يجب أن تتم إحاطتها بمادة لمتصاص كافية لاحتواء كل السوائل.
 - الردم الأرضي يمكن أن يقبل تركيزات من ٥٠ إلي ٥٠٠ جزء في المليون.
- د. طرق التخلص بديلة:

توجد طرق عديدة لمعالجة والتخلص من مخلفات PCBs. بدائل المعالجات الطبيعية، الكيماوية ، البيولوجية من الطرق المتاحة.

ولكن المستخدم عادة هو إزالة السمية (Detoxification) العمليات الكيماوية لازالة السمية تهاجم جزئ PCB عند أربطة الكلور- للكربون. يتم تجريد الكلور من جزيئات الباي فينيل، وعندئذ تحدث بلمرة للباي فينيل لتكوين حمأة غير مذابة والتي يتم ترسيحها من السائل العازل.

إدارة المستوى المنخفض للمخلفات المشعة

Managing Low-Level Radioactive Waste

5

١. مقدمة:

الإدارة الآمنة والمؤثرة للمخلفات المشعة هي واحد من أكبر التحديات التي تواجه الجنس البشري في المستقبل المنظور. وذلك لتجنب النتائج الخطيرة، المخلفات ذات المستوى الإشعاعي المنخفض هي تلك المخلفات التي تحتوي علي نشاط إشعاعي ولكن لا تصنف كمخلفات عاليه المستوى، أو مخلفات ذات عدد ذري أكبر من ذلك لليورانيوم (Transuranic) أو عادم للوقود النووي. عينات الاختبار عادة انفطارية تسم إشعاعها للبحث والتنمية فقط، وليس بغرض انتاج طاقة أو بلوتونيوم يمكن تصنيفها كمخلفات المستوى المنخفض، شريطة أن تركيز ما بعد اليورانيوم (Transuranics) يكون أقل من ١٠٠ نانو كورى لكل جرام من المخلفات.

هذا التعريف يحتاج إلي زيادة في مناقشة طبيعة النشاط الإشعاعي.

٢. النشاط الإشعاعي: (Radioactivity)

معظم المواد توجد في الطبيعة في شكل ثابت ، تلك ليست مشعة. بعض المواد تكون مشعة بطبيعتها، والبعض الآخر يتم تخليقه معطياً إشعاعات بمعدلات مختلفة مع الوقت. نواة الذرة تتكون من بروتونات ، نيوترونات والطاقة التي تربطهما. في عملية التحلل الإشعاعي النويات غير المستقرة تعيد تنظيم نفسها إلي إما نظير جديد (عدد مختلف من النيوترونات) أو إلي واحد أو أكثر من الأنواع الجديدة من الذرات (عدد مختلف من اللبروتونات). بواسطة عدد من العمليات فإن النويات الذرية غير المستقرة (النويات المشعة) سوف تبعث في الحال جسيمات معينة وإشعاع كهرومغناطيسي، طبقاً لنوع وطريقة التحلل. تلك الانبعاثات تميل إلي أن تكون ذات طاقة عالية (Very Energetic) أى ، يمكنها إكساب كمية كبيرة نسبياً من الطاقة إلي ما تصدمه في حالة امتصاصها. من المهم بالنسبة لصحة الإنسان هو ما يحدث عند تصادم تلك الانبعاثات مع الالكترونات. نظراً لأن بعض أو كل الطاقة يتم اكتسابها للالكترونات، فهي بالتالي، تصدم إلكترونات أخرى، بما ينتج عنه وإبل من الأيونات. وهذا ما يعنيه

مصطلح اشعاع التأين (Ionizing Radiation). هنا التأين ينتج أربطة كيميائية تم تكسيراها، والتي هي السبب في التلف البيولوجي الملاحظة بعد التعرض للإشعاع. المعدل الذي تتبعث به الإشعاعات من المادة يقاس بالكورى. معدل التحلل أو استمرار المادة المشعة يقاس بوحدة الزمن التي تسمى نصف العمر (Half Life). نصف العمر هو مقياس للزمن اللازم للتحلل الطبيعي لنصف كمية المادة المشعة. رغم أن نصف العمر ثابت لأى مادة، فإن نصف العمر لمختلف المواد المشعة يمكن أن يتغير ما بين جزء من ألف مليون من الثانية (Nanoseconds) إلى ملايين السنين، معدل التحلل لا يتوقف على درجة الحرارة، ولذلك، فإن كمية الوقت لتصبح المادة غير مشعة هي بدلالة كمية المادة الموجودة. العامل الآخر ذو العلاقة هو تركيز أى نويات مشعة معينة في مادة المخلفات. بالنسبة لنصف عمر معين، عدد النويات المشعة في وحدة كتلة المخلفات أو الحجم سوف يحدد عدد التحللات النووية لوحدة الكتلة أو الحجم في الثانية. للتعريف للرسمي للكورى هو كمية المادة اللازمة لإعطاء ٣٧ بليون تحللات نووية في الثانية (3.7×10^{10}). لذلك فإننا نرى أن واحد كورى للرانديوم المركز يكون كتلة صغيرة نسبياً، بينما واحد كورى للمخلفات ذات المستوي المنخفض يمكن أن يكون كمية ضخمة من المادة. من المهم ملاحظة أنه مع الوقت كل المواد المشعة سوف تصبح مستقرة أو غير مشعة.

يوجد أربع أنواع من الإشعاع وهي:

جسيمات ألفا	Alpha Particles
جسيمات بيتا	Beta Particles
اشعاع جاما	Gamma Rays
والنيوترونات	Neutrons

- انبعاثات ألفا: تتكون من انطلاق جسيمات ألفا (α) التي هي ثقيلة نسبياً وتكافئ نواة الهيليوم (He). تأكل أو تحلل ألفا هو العادى غالباً في النويات ذات أرقام كتلة أكبر من ٢٠٩ (Mass No)، وأرقام ذرية أكبر من ٨٢ (Atomic No) يمكن إيقاف اشعاع ألفا بصفحة من الورق وسوف لا تخترق الجلد. ولكن، جسيمات ألفا يمكن أن تكون ضارة للكائنات الحية إذا تم ابتلاعها أو استنشاقها لذلك، فإن المخلفات التي تقوم بانبعثات ألفا تتطلب خطط حازمة للتداول الآمن.
- انبعاثات بيتا: تتكون من انطلاق جسيمات بيتا (β) والتي هي إلكترونيات (ذات شحنة سالبة) التي تتبعث كشكل طبيعي للتحلل الإشعاعي (Radioactive Decay).

اشعاع بيتا يصعب احتواؤه حيث يمكنه المرور خلال بوصه من الماء أو الجلد. ولكن اشعاع بيتا لا يمكنه اختراق صفحة سميكة من الألومنيوم أو الصلب وهي لا تسبب تهديد كبير في حالة الهضم أو الاستنشاق مثل انبعاث ألفا.

• أشعة جاما: أشعة جاما تصاحب أنواع أخرى من التحلل الإشعاعي، ومع انبعاثات النيوترون تكون أكثر اختراقاً، أشعة جاما والنيوترونات يمكنها المرور خلال أنواع عديدة من المواد بما فيها جسم الإنسان، يمكن إيقافها فقط بواسطة مواد شديدة الكثافة مثل الخرسانة أو الرصاص.

بالإضافة ، فإن المخلفات يمكن تصنيفها طبقاً لمتطلبات تداولها. طبقاً ما إذا كانت المخلفات تبعث جسيمات ألفا و/أو أشعة جاما فإن بعض المخلفات سوف تتطلب التداول عن بعد: تداول المخلفات عن بعد يتطلب تغليف إضافي أو إحتواء لحماية العمال والأفراد عند التداول، المعالجة، التخلص، أو النقل.

مع تلك المقدمة الأساسية نحو الإشعاعية أو النشاط الإشعاعي، دعنا نعيد اختبار التعريف السابق للمخلفات ذات المستوى - المنخفض. أو المخلفات ذات المستوى المنخفض لا يتم تصنيفها كمخلفات ذات المستوى المرتفع، المخلفات ذات المستوى المرتفع هي مخلفات ذات اشعاعية مرتفعة (قيمة كوري مرتفعة لكل وحدة وزن أو حجم) حيث تعرف بمصدرها؛ إعادة معالجتها كوقود في محطات للطاقة النووية أو في مجال السلاح النووي. المخلفات عالية المستوى تحتوي كذلك علي معادن سامة أو مواد عضوية والتي تجعلها خطيرة ولذلك تصنف كمخلفات مختلطة. المخلفات عالية - المستوى تحتاج إلي عزل لانهاائي عند حدوث تحللها الطبيعي.

المخلفات ذات المستوى المنخفض ليست مخلفات ما بعد اليورانيوم (Transuranic) المخلفات ما بعد اليورانيوم هي عموماً مخلفات ذات نصف العمر أكبر من ٢٠ عام أو أكثر من ١٠٠ نانو كوري لانبعاثات ألفا من ما بعد اليورانيوم (حيث الرقم) للذرى أكبر من لليورانيوم عند ٩٢ من النظائر لكل جرام من المخلفات وكذلك فإن المخلفات ذات المستوى المنخفض ليست كذلك "عام الوقود النووي" والذي يعرف بأنه الوقود المسحوب من المفاعلات النووية لانتاج الطاقة، الوقود من إنتاج البلوتونيوم، الوقود من بعض أنواع مفاعلات الأبحاث.

للتعريف يستمر لتوصيف أن تلك المخلفات يتم تقسيمها كمنخفضة - للمستوى إذا كانت نتيجة الأبحاث والتطوير فقط، وتحتوي تركيزات من مادة ما بعد اليورانيوم أقل من ١٠٠ نانو كوري لكل جرام من المخلفات.

بعد التعريف، تم تقسيم المخلفات المشعة ذات المستوي المنخفض إلى أربع أنواع، وهي A, B, C، المخلفات أكبر من C. كل نوع يحتوي على كميات أكبر من النويات المشعة ذات العمر القصير (Short - Lived) وبعض النويات للمشعة ذات العمر الطويل. طبقاً لتلك التقسيمات فإن بعض المخلفات قد تحتوي على كمية صغيرة من مخلفات الملوثات ذات المستوي - العالي، مثل البلوتونيوم ٢٣٩، وتظل مصنفة في التقسيم A. أنه لهذا السبب فإن بعض العلماء يعترض على هذا التقسيم للمخلفات المشعة على أن يعاد التقسيم طبقاً للتركيز والاستمرارية كوسائل مؤثرة في إدارة تلك المواد السامة.

بصرف النظر عن التعاريف فإن القوانين للمخلفات ذات المستوي المنخفض تحتاج إلى الملاحظة عند التخلص من الآتي: ملابس الحماية المستخدمة بواسطة العمال القائمين بتداول المواد المشعة في المعامل وفي المنشآت البحثية، أو المنشآت الصحية، أنابيب الاختبار أو المعدات التجريبية المستخدمة في الأبحاث المشعة، المرشحات المستخدمة لتنقية المياه في محطات الطاقة أو المزلقات المجمدة من العمليات الصناعية. المخلفات ذات المستوى المنخفض توجد أساساً في الشكل الصلب، وإلا، فإنه يجب أن يتم تجميدها قبل التخلص.

٢. المعالجة والتخلص من المخلفات المشعة ذات المستوي المنخفض:

Low-Level Radioactive Waste Treatment And Disposal:

أ- المعالجة :

معالجة المخلفات المشعة ذات المستوي المنخفض محدودة. بالنسبة للمخلفات ذات المستوي المنخفض تستخدم المعالجة لخفض حجم القص لمواد المخلفات. هذا يختلف عن معالجات المخلفات للخطرة ، حيث معالجة المخلفات هو لتكون غير خطره خلال التغيرات الطبيعية أو الكيميائية، ولكن عندما تحتوي المخلفات المشعة ذات المستوي المنخفض مواد خطره (خليط من المخلفات) فإنه يلزم معالجة أكثر شدة وصرامة. بعض المخلفات المشعة ذات المستوي المنخفض لها أعمار قصيرة حيث يمكن أن تظل ببساطة في الموقع في لوعية حتي تصبح غير مشعة ثم يتم التخلص منها كمخلفات عادية. البعض الآخر يتطلب بعض الطرق لإدارة المخلفات. معظم المخلفات المشعة ذات المستوي المنخفض تكون جافة وصلبة، ويسبب الكمية الضخمة للمواد المخلوطة فإن حجم تلك المخلفات يبدو أنه كبيراً. الفصل الحذر لمكونات المخلفات المشعة ذات المستوي المنخفض من المخلفات غير المشعة خفض إلى حد

كبير حجم المخلفات التي يتم التخلص منها في مواقع التخلص لتلك المخلفات ذات المستوى المنخفض. تستخدم معدات الضغط الهيدروليكي ومعدات النمك عالية الكفاءة لخفض حجم تلك المواد، بنسبة ٩٠-٥٠% قبل التحميل للتخلص. كذلك فإن المحارق أو المعالجة الحرارية تستخدم لخفض حجم المواد القابلة للاحتراق. المخلفات المشعة ذات المستوى- المنخفض للسائلة يجب أن يتم تجميدها قبل التخلص منها. في معظم الحالات تتم عملية التجميد من خلال خلط المخلفات السائلة مع الأسمنت لتكوين كتلة غير مسامية، بما يقلل من الحجم.

النقل :

تستخدم الحاويات من الصلب ذات الجدار المزدوج والمغلقة بالرصااص لتحمل الحرارة الزائدة أو التلث وذلك للمخلفات ذات الاشعاعية العالية أو التي تحتوي خليط معين من النويات المشعة، معظم المخلفات المشعة تحت المستوى المنخفض يمكن نقلها في براميل مغلقة جيداً ومعبأة جيداً.

التخلص:

تصميم مواقع التخلص يتوقف علي المناخ وسقوط الأمطار. يوجد نوعين من مرافق التخلص وهما الدفن في الأرض المنخفضة (حفر أرضية مع بطانة من الطفلة أو من مادة مانعة لنفاذ للمياه) وفجوة من الخرسانة (إما فوق المنسوب أو تحت المنسوب). حيث تكون الأمطار نادرة وخط للمياه الجوفية يكون بعيداً فإنه تستخدم الأرض المنخفضة . تقنيات التخلص القياسية تشمل:

٥. الدفن في الأرض المنخفضة :

تستخدم الخنادق الطويلة تقريباً ٣٠ قدم أسفل المنسوب حيث يتم وضع براميل المخلفات ذات المستوى المنخفض مع ملء الفواصل بين البراميل بالرمال. تلك الانشاءات تستخدم إما الطفلة الطبيعية كبطانة أو التغطية بسطح طارد للمياه.

٥. الأوعية الخرسانية العيارية: Modular Concrete Canisters

تستخدم في الأرض الضحلة لمنشآت الدفن، حيث يتم وضع أوعية المخلفات ذات المستوى المنخفض في أوعية خرسانية مع ملء الفراغات والفواصل بالخرسانة لمنع تحرك الأوعية خلال اللوعاء الخرساني. يتم وضع الأوعية الخرسانية في حفر الردم ثم إضافة الرمال للملء لتجنب تحرك الأوعية الخرسانية، (وهذا يستخدم في حالة المخلفات المشعة ذات المستوى المنخفض ذات القدرة الاشعاعية الأعلى).

• السرايب تحت الأرض: (Below Ground Vaults)

السرايب الخرسانية ذات سمك الجدار من ٢-٣ قدم والتي تكون تحت منسوب سطح الأرض وتمكين عمل مصفوفة أوعية المخلفات ذات المستوي المنخفض، يتم استخدام الرمال لملء الفواصل بين الأوعية ثم تتم عملية العزل للسرداب بواسطة غطاء من الخرسانة يعلوه غطاء من التربة.

• السرايب فوق سطح الأرض:

يتم عمل انشاءات خرسانية فوق سطح الأرض كما في حالة الانشاءات تحت سطح الأرض. معظم أوعية المخلفات يتم وضعها خلال وعاء خرساني وعزلها بالخرسانة المحيطة. يتم تغطية هذا السرداب بالرمال والزلط وعزله بغطاء من الخرسانة . كل السرداب يتم تغطيته بطبقة من التربة.

عمليات الاستعادة للمخلفات الخطرة

الفصل السادس:

الإدمصاص بالكربون المنشط

الفصل السابع:

التقطير

الفصل الثامن:

تقنيات الاستعادة الإليكترونيتية

الفصل التاسع:

التحلل بالماء

الفصل العاشر:

التبادل الأيوني

الفصل الحادي عشر:

الاستخلاص بالمذيب

الفصل الثاني عشر:

تكنولوجيا الفصل الغشائي

الفصل الثالث عشر:

التجريد بالهواء والتجريد ببخار الماء

الفصل الرابع عشر:

خفض التلوث والاستعادة

الفصل السادس

الادمصاص بالكربون المنشط

Activated Carbon Adsorption

6

١. مقدمة :

إدمصاص الكربون المنشط يمكن استخدامه لإزالة العديد من الملوثات من التفتقات السائلة أو الغازية. وهي تستخدم تقليدياً للمركبات العضوية رغم أن بعض المواد غير العضوية يتم إدمصاصها بكفاءة. الاستخدام التقليدي يشمل معالجة المياه الجوفية، معالجة مياه الصرف الصناعي، وإحكام ثلوث الهواء ، إستعادة الإنسكاب الكيماوي، معظم نظم إدمصاص الكربون تستخدم حبيبات الكربون النشط (GAC) في التدفق خلال عامود المفاعلات. تلك النظم ذات كفاءة وبسيطة نسبياً للعمل عند التصميم الجيد. يمكن إضافة مسحوق الكربون المنشط (PAC) لبعض عمليات المعالجة الجارية أو الاستخدام في مفاعلات الردغة (Slurry) لقد استخدمت تكنولوجيا مسحوق الكربون المنشط في نظام الحماة المنشطة.

عملية الإدمصاص هي عملية عكسية. لذلك يكون من الطبيعي إزالة الملوثات المعترزة بعد استنفاد كفاءة الإدمصاص للكربون، هنا الكربون الذي تم تجديده يتم إعادة استخدامه. في استخدامات معالجة المخلفات يستخدم عادة التجديد الحراري نظراً لأن الملوثات العضوية يتم تدميرها في العملية. في حالة التفتقات الصغيرة للمخلفات . فإن التجديد قد لا يكون مجدياً من الناحية الاقتصادية حيث يتم التخلص من الكربون بعد الاستخدام. كذلك يمكن استخدام الكربون المنشط في استعادة الكيماويات والتركيز ، حيث في تلك الحالة تستخدم عملية التجديد غير الإتلافية.

لقد عرف استخدام إدمصاص الكربون في عام ١٩٧٠ لإزالة طيف عريض من المركبات العضوية من كل من الماء والهواء، أحد تلك الاستخدامات كانت معالجة المياه الجوفية الملوثة بخلط من المذيبات الصناعية.

٢. مبادئ الإدمصاص: Adsorption Principles

أ. آلية الإدمصاص:

توجد عدة قوي جنب بين جزيئات المجال المائع (غاز أو سائل) وجزيئات الصلب القائم بالادمصاص، الجميع له أصله في التأثيرات المتبادلة للكهرومغناطيسية للنويات والإلكترونات. ثم تعريف ثلاث عوامل وهي

الطبيعية، للكيماوية والكهروستاتيكية. الإنمصاص للطبيعي يكون نتيجة قوي (Vander Waals) ، حيث التفاعل الضعيف نسبياً نتيجة حركة الإلكترونات في مداراتها. الإنمصاص الكيماوي أو (Chemisorbtion) يشمل تأثر متبادل للإلكترونات بين مواقع سطحية معينة وجزيئات مادة الإنمصاص، بما ينتج عنه تكوين رباط الذي له كل خواص الرباط الكيماوي، الإنمصاص الكيماوي له طاقة لإنمصاص أقوى من الإنمصاص الطبيعي، بينما كلا من الإنمصاص الكيماوي والطبيعي ينتج من التأثير الإلكتروني-الطبيعي المتبادل، فإن مصطلح الإنمصاص الكهروستاتيكي يختص بقوة الجذب الكولومبية (Coulombic) بين الأيونات ومجموعات الشق الحامل للشحنة وهذا يكون مرادفاً للتبادل الأيوني.

في المحاليل السائلة، يجب إعطاء الاعتبار لطبيعة حالة المحلول، أي، الحد الذي عنده يكون المذيب قادراً علي احتواء المذاب. تنتج قوي (Solvophobic) عندما يكون عدم توافق كيماوي كبير بين المذاب والمذيب، تلك القوي يمكن أن يصاحبها انحدار ديناميكي حراري كبير الذي يدفع المذاب خارج المحلول، يمكن أن ينتج عن ذلك طاقات لإنمصاص التي تعتبر أعلا بكثير عن تلك الناتجة من التفاعل السطحي فقط. في المحاليل المائية معظم الجزيئات غير القطبية (Nonpolar) يتم لإنمصاصها سريعاً نحو أي سطح صلب متاح حيث يشار إلي ذلك بـ (Hydrophobic Bonding) .

خواص الكربون المنشط:

الكربون المنشط يمكن صناعته من العديد من المواد الكربونية بما فيها الفحم، الكوك، الخشب، قشور (البندق، اللوز.... إلخ). عملية التصنيع تشمل إزالة الرطوبة من المادة الخام، كربنة أو تحويل المادة إلي خليط من الكربون، القار، البللوري وغير البللوري (Amorphous) والتنشيط (Activation)، حيث يتم حرق القار وعامل تنشيط مثل البخار أو ثاني أكسيد الكربون يقوم بمهمة إنتاج شبكة كثيفة من الثقوب الداخلية، المنتج الناتج من هذه العملية يكون أساساً للكربون، ولكنه يحتوي مستويات عالية من عناصر أخرى التي كانت موجودة في المادة الخام بالإضافة إلي العديد من مجموعات الشق التي تراكمت نتيجة عملية للتنشيط. دخل جسيمات الكربون مسامية عالية، مكونة من (Macropores) ذات أقطار تزيد عن 1000 \AA - وحدة أنجسترون، (Micropores) ذات أقطار ما بين 10 \AA إلي 1000 \AA). الثقوب ذات قطر أقل من 10 \AA (أنجسترون) تعتبر غير قابلة لمعظم المواد المذابة. للتوزيع الحجمي للثقوب الداخلية يكون بدلالة عملية التصنيع. إجمالى المساحة السطحية الداخلية تكون ما بين ٥٠٠ إلي ٢٠٠٠ متر مربع علي الجرام. يمكن كذلك التحكم في حجم حبيبات الكربون لإنتاج مسحوق الكربون المنشط ، حبيبات الفحم المنشط.

خواص الإنمصاص للكربون المنشط تكون أساساً نتيجة البناء عالي المسامية للمادة، أو المساحة السطحية العالية للمنتج، إجمالى المساحة السطحية قد توفر بيان تقريبي عن طاقة الإنمصاص والتي يمكن قياسها بدمصاص غاز النيتروجين في اختيار (BET).

خواص المادة الممتزة: (Properties of The Adsorbate)

بالنسبة للمحاليل السائلة الانمصاص يزداد طبقاً لانخفاض إذابة المركب في المحلول . لقد لوحظ كذلك أحياناً أن انمصاص المركبات العضوية يزداد عادة مع زيادة الوزن الجزيئى. بالنسبة للتدفقات الغازية فإن ضغط البخار مرادف للإذابة في تدفقات السائل ولذلك يقوم بخدمة جيدة كمؤشر للانمصاص.

٣. المفاعلات وعمليات المعالجة:

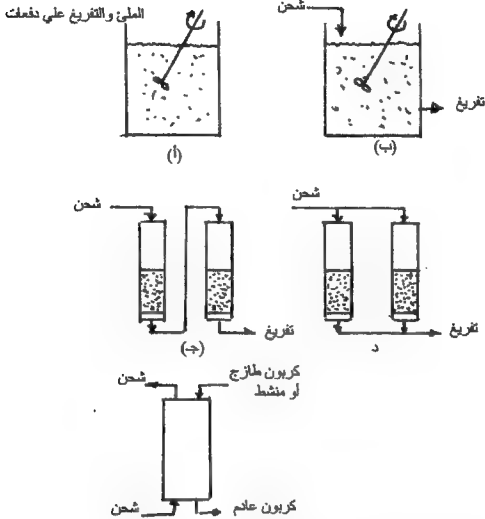
الطريق التي يتم بها تعرض المادة للممتزة إلى مادة الانمصاص تعتبر من الاعتبارات التصميمية الهامة. العديد من أشكال المفاعلات المستخدمة وكل له مميزاته وعيوبه. المخططات العامة لمعظم المفاعلات المستخدمة موضحة في الشكل (٦/١) . والتي تتلخص في الآتي:

١- مفاعلات الخلط الكامل للتدفقات هو مسحوق الكربون المنشط. في كلا الحالتين يتم الخلط لضمان استمرار مسحوق الكربون المنشط عالقاً، وأن ردغة مسحوق الكربون المنشط والمياه الملوثة يتم توزيعهم بانتظام خلال الخزان ولا يتم حدوث تركيز جزئي.

في مفاعل الخلط الكامل (Completely Mixed Reactors) المستخدم عموماً في مفاعلات الخلط بالدفعة الواحدة أو الخلط الكامل يتم إدخال محلول الملوّث نحو الخزان، يضاف مسحوق الفحم المنشط ويتم تعليق الردغة حتي الوصول إلي التركيز المطلوب للتدفق الخارج (Effluent).

بالنسبة لكلا نوعي نظم الخلط الكامل ، يكون من الضروري فصل مسحوق الكربون المنشط من المحلول بمجرد الوصول إلي التركيز المقبول، ويستخدم لذلك مروق أو حوض ترسيب. في نظم الخلط الكامل قد يكون من الممكن استخدام حوض التفاعل نفسه بإضافة مروب لانهاء الخلط وإمكان ترسيب العالق.

مسحوق الكربون المنشط يمكن إضافته عند نقط مختلفة في محطة المعالجة التقليدية والإزالة بالترويب والترسيب أو الترشيح للتحكم في المذاق والرائحة أو لإزالة مواد عضوية معينة مثل مركبات التراي هالوميثان. (Trihalomethanes).



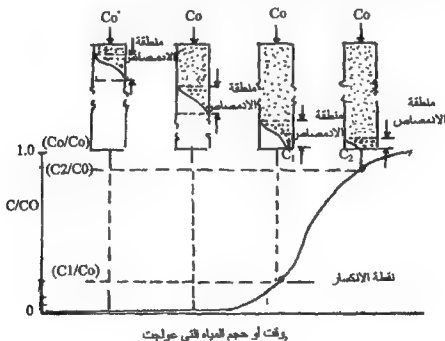
شكل (1/6) حالات المفاعل لنظم الامصاص (ا) شحنة تامة الخلط .
(ب) تدفق تام الخلط، (ج) الأعمدة علي التوازي، (د) طبقة نابضة أو متحركة

تفاعلات العاود: Column Reactors

مفاعلات العاود أو التدفق الكتلي (Plug Flow) ليست مجدية هيدروليكيًا لمسحوق الفحم المنشط ولكن لها عدة فوائد تفوق مفاعلات تدفق الخلط الكلي بالنسبة لنظم ادمصاص حبيبات الكربون المنشط. تقدم عملية الامصاص في مفاعل عامود الطبقة المثبتة (Fixed Bed Reactor) موضع في الشكل (1/7)، حيث تظهر حالة طبقة الكربون عند نقط مختلفة علي طول انكسار المنحنى، توقيح تركيز التدفق الخارج كدلالة للوقت أو الحجم المعالج. يمكن من هذا الشكل ملاحظة أنه عند وضع الطبقة علي الخط أولا فإن السطح العلوي للطبقة فقط هو الذي يكون معرضا لتركيز التدفقات الداخلة للمادة الممتزة حيث تفاعل الامصاص استنزف المحلول الواصل إلي الطبقة السفلي. عملية الاستنزاف هذه تؤسس عمق نهائي في الطبقة، حيث يتغير التركيز فوقه من قيمة التدفقات الداخلة

إلى الصفر. عمق العמוד الذي يحدث ذلك فوقه يسمى منطقة الامتصاص (Adsorbtion Zone) أو منطقة انتقال المادة. مع استمرار الطبقة العليا في الامتصاص ، فإنها تصل إلى التشبع حيث التركيز في الكربون يكون في إتران مع للتدفقات للدخله، وتحرك منطقة الامتصاص إلى أسفل. تركيز التدفق الخارج الذي يخرج من العמוד يظل صفراً لحين وصول منطقة الامتصاص إلى قاع العמוד. عند وصول التدفقات للخارج تركيز سبق تعيينه والذي يسمى الإختراق (أو التقدم (Break Through)) فإن عמוד الامتصاص (Absorber) يتم خروجه من الخدمة. للميزة الرئيسية لمفاعل العמוד هو استخدامه الكفؤ لطاقة الامتصاص، حيث معظم الطبقة تكون في إتران مع تركيز التدفق للدخل عند إزالة الكربون من الخدمة.

ثانياً: أى حجم من الكربون يكون معرضاً لزيادة تركيز المادة الممتزة مع تقدم التفاعل، بما ينتج عنه معدل تفاعل كلي أعلا كثيراً عن ما يمكن الحصول عليه في نظم الخلط الكامل. أخيراً، حيث يوجد دائماً كربون طازج (غير معرض) على رأس منطقة الامتصاص، فإن التغيرات في تركيز التدفق للدخل لا يحدث تغيرات في التدفق الخارج، حيث يتغير ببساطة المعدل الذي عنده تتحرك منطقة انتقال الكتلة.



شكل (6/2) منحنى الاختراق المثالي

وحدات الامتصاص بالطريقة الثابتة المستخدمة في المجال السائل يمكن أن تعمل بطريقة التدفق العلوي أو للتدفق السفلي، حيث البديل للعادي حيث للتدفق السفلي بالضغط

وذلك لمياه الصرف الصناعي، المياه الجوفية، وكذلك في معالجات المياه للاستخدامات الصناعية، التدفق السفلي يمكن أن يعمل جهاز الامصاص كمرشح، رغم أن كلا من التصميم والتشغيل يجب أن يتضمن الحاجة إلى الغسيل العكسي للكمف، الاستخدام الواسع الانتشار في هذا المجال هو وضع حبيبات الفحم المنشط كوسط حبيبي في المرشح الرملي السريع التقليدي لمعالجة مياه للشرب. عملية التدفق العلوي رغم أنها لا تحتمل أحمال المواد الصلبة الثقيلة، عموماً يستتبع ذلك مشاكل صغيرة بالمسارات (Channeling)، تراكمات عضوية (Fouling) والفق الكبير في الضغط. بالإضافة، فإن حجم حبيبات الامصاص يمكن أن تكون أصغر، بما ينتج عنه زيادة في معدل الامصاص وبذا خفض في حجم مادة الامصاص (Adsorber). تصميم وحدة الامصاص قد تشمل وحدات لمصاص فرعية عديدة حيث في تلك الحالة يمكن أن توضع الأعمدة علي التوالي أو علي للتوازي. نظام التوالي يعمل عموماً بحيث أنه عند رفع العمود الأول من الخدمة، فإن العمود الثاني يتحرك إلى الموقع الأول والعمود الجديد (أو الكربون المنشط المحدد) يتم وضعه في الخط في الموقع الثاني. فائدة هذه الطريقة هي أن الكربون يتم استخدامه كاملاً مقارنة بنظم الامصاص الفردي. في النظام المتوازي، تكون إزالة الماصات من الخدمة بشكل متعاقب (Staggered) والتدفقات الخارجة من كل وحدات الامصاص في الخدمة يتم خلطه بحيث أن النظام يعمل باستخدام وحدات الامصاص عند نقط مختلفة علي طول منخلي الإختراق، النتيجة هي قلة التغير في نوعية التدفق الخارج عنه في حالة نظم الامصاص الفردي (Single Adsorber).

النوع الثاني من مفاعل العمود هو وحدة الامصاص بالطبقة النابضة (Pulsed-Bed Adsorber). في هذه العملية يتم إزالة جزء فقط من الكربون العادم من الخدمة عند الوصول إلى بعض التركيز الجرج للتدفق الخارج، يتم تنفيذ ذلك عادة باستخدام العمود في شكل التدفق العلوي مع إضافة كربون جديد من أن إلى آخر إلى قمة العمود وسحب الكربون العادم من القاع. حيث تتم إزالته من الخدمة هو فقط الكربون التام التشبع، فإن عملية طبقة النبض تكون أكثر كفاءة وينتج عنها استخدام أقل للكربون مقارنة بنظم الطبقة الثابتة. ولكن هذا يجب أن تتم مقارنته مقابل التكاليف الرأسمالية الأعلى لنظم الطبقة النابضة، اعتبار إضافي عند الاختيار بين نوعي النظم هو التغير في نوعية التدفق الخارج. بينما أن عملية الطبقة الثابتة تنتج تدفقات خارجة التي تتغير من صفر أساساً حتي أقصى مستوي، فإن الطبقة الثابتة يمكن أن يتم تصميمها لإنتاج تغيرات في التركيز من مستوي تم اختياره دون الأقصى حتي الأقصى، وذلك ببساطة من خلال إحكام حجم وتردد النبضات. النتيجة هي زيادة ثبات التدفق الخارج. في الحالة الشديدة

لوحة الادمصاص بالطبقة المتحركة، تتم إضافة للكربون وسحبه باستمرار كما في مفاعل التدفق المعاكس، ويكون تركيز التدفق الخارج ثابتاً.

كلا من وحدات الادمصاص بالطبقة الثابتة والطبقة النابضة يمكن أن تعمل بطريقة تمدد طبقة التمدد العلوي (Up Flow Expanded Bed Mode). في هذا الشكل يستمر المحافظة علي سرعة تدفق السائل لتمدد حجم الطبقة بحوالي ١٠%. هذا سوف يسمح للمواد الصلبة العالقة في التدفق للدخل بالمرور خلال الطبقة، وبذا عدم الحاجة للترشيح المسبق. قد ينتج كذلك معدلات إدمصاص أسرع بسبب للزيادة في معامل الانتقال للطبقة. السلبية في هذه الطريقة هي ارتفاع للفقد في الكربون نتيجة للبرك من تحرك الحبيبة في الطبقة.

نفس الأنواع الأساسية لمفاعلات العمود يمكن أن تستخدم لتطبيقات مجال البخار، ولكن، العديد من الاختلافات الهامة يلزم مراعاتها. نظم الطبقة الثابتة تستخدم كثيراً وتشمل عادة قدرة تجديده تكاملية، خاصة عند الاستخدام لأغراض الاستعادة. الطبقة الدوارة باستمرار هي تغيير واختلاف لنظام الطبقة الثابتة، حيث اسطوانة مثبتة مفرغة للكربون المنشط تدار ببطء بحيث أن الادمصاص يحدث في جزء واحد من الدورة وتحدث خطوة التجديد بالتدفق العاكس علي الجزء الباقي من الدورة. الطريقة التبادلية هي طريقة الطبقة المتحركة والتي تتضمن التمرير الكامل لحبيبات الكربون في تدفقات الغاز المتحرك إلي أعلا، مع إدخال الكربون الذي تم تنشيطه عند القمة للمفاعل، إزالة الكربون المشبع (الأقل) عند القاع، وتنشيط الكربون. فيما بين .

العمليات المشتركة للادمصاص والمعالجة البيولوجية:

في كثير من تدفقات المعالجة، سيكون هناك نشاط ميكروبيولوجي علي سطح الكربون عدا في حالة إجراء بعض خطوات منع معينة، هذا ينتج من قدرة الكربون المنشط علي ادمصاص الأكسجين، مواد الغذاء، ومادة الأساس ومن ميل الكائنات الدقيقة نحو الالتصاق علي الأسطح. سواء كان هذا النشاط مفيد أو مفسد لعملية الإدمصاص فإنه مجال للبحث والتدقيق.

من وجهة النظر العملية، يكون واضحاً أن النمو البيولوجي علي وحدات ادمصاص الكربون يمكن إما أن يعزز أو يقلل للتأثيرات الكلية لعملية المعالجة طبقاً لتدفقات المخلفات وكيفية عمل النظام، ربما أن يتم تشجيع النشاط البيولوجي في أعمدة الادمصاص بإضافة الأكسجين، الأوزون، أو أي مؤكسدات أخرى قبل العمود، وهذا يمكن أن يكون له تأثير زيادة الأكسجين المذاب في الطبقة والأكسدة للجزيئية للجزيئات العضوية بما يجعلها أسهل في التحلل.

اعتبارات التصميم:

التقييم الأولي لجدوى الانمصاص:

يعتبر انمصاص الكربون عملية إزالة جيدة للملوثات العضوية غير الأيونية (Nonpolar) ، ذات إذابة منخفضة، أو ذات وزن جزيئي عالي. الجدول (٦/١) يبين عدد من المركبات العضوية القابلة للانمصاص. مركبات غير عضوية معينة سوف يتم ادمصاصها كذلك علي الكربون المنشط ولكن لا تستخدم تلك التقنية كثيراً. ذلك بسبب مشاكل التجديد عند وجود مستويات عالية من المواد غير العضوية الممتزة بالإضافة إلي وجود طرق بديلة ذات جدوى إقتصادية.

يلزم عمل اختبارات ريادية لضمان الأداء الجيد واقتصاديات المعالجة، في حالة توافق تقنية المعالجة، يكون من المفيد دراسة العوامل لتحقيق أفضل اقتصاديات.

جدول (٦ / ١) المركبات العضوية القابلة للانمصاص علي الكربون المنشط

المذيبات الأروماتية	البنزين، التولوين، إكزايلين
الأروماتية الكلورة	النفثالين
الفينولات	الكلو بنزين، الألورين
مركبات النشاط السطحي	التوكسافين، الـ DDT
الوقود	الفينول، الأنيلين
الصبغات العضوية المذابة	الكيل بنزين سلفونيت
المذيبات الكلورة	جازولين ، كيروسين ، زيوت
الأحماض الأليفاتية والأروماتية	رابع كلوريد الكربون
أحماض البنزويك	أحماض القار

المعالجة المسبقة: (Pretreatment)

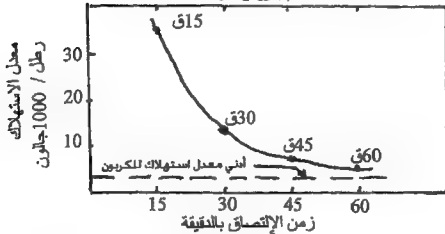
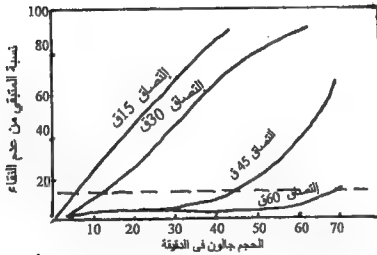
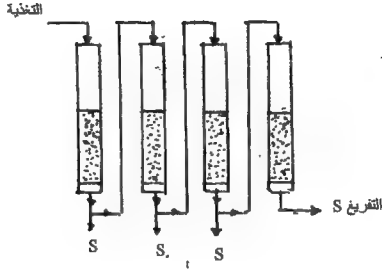
تركيزات المواد الصلبة العالقة تعتبر إعاقة في وحدات الإدمصاص بالطبقة الثابتة أساساً بسبب حدوث زيادة في الفقد في الضغط ومتطلبات الغسيل العكسي. الحد العملي لتركيز المواد الصلبة العالقة هو ٥٠ ملجرام/لتر، وهذا يقابل الغسيل العكسي كل ٢٤ ساعة باستخدام ٢,٥% من ماء الإنتاج عند معدل تحميل هيدروليكي ٤ جالون في الدقيقة/القدم المربع. الحدود من ٥ إلي ١٠ ملجرام/التر هي المقترحة لأعمدة الطبقة الثابتة بالتدفق السفلي بدون قدره علي الغسيل العكسي وأعمدة الطبقة الثابتة بالتدفق العلوي. حدود أعلا تمكين استخدامها مع النظم التي تعمل بالضغط.

طبقات التمدد بالتدقيق العلوي يمكن أن تتحمل مستويات عالية جداً من المواد الصلبة العالقة، رغم الحاجة إلى إزالة تلك المواد للصلبة. الزيوت والشحوم تكون في حدود حتى ١٠ ملجرام/لتر حيث المستويات الاعلا سوف تعمل علي تغطية حبيبات الكربون بما يقلل القدرة علي الانمصاص. كذلك بعض المركبات غير العضوية، للعوامل المساعدة للترسيب ومواد الترويب سوف تعمل علي تعقيم الكربون. كذلك العسر بسبب مشاكل من هذا النوع. مشاكل الترسيب والترويب يمكن مقاومتها بعمل الترشيح مثل الانمصاص، المركبات المعدنية غير المستقرة يمكن تثبيتها بضبط الرقم الهيدروجيني أو بإضافة موانع لترسيب القشور.

دراسات القابلية للمعالجة: (Treat ability Studies)

من المهم عمل اختبار معلمي لطريقة أعمدة الطبقة الثابتة وطريقة الاختبار هي كالآتي:

يتم انشاء نظام من الأعمدة علي التوالي كما هو موضح في الشكل (١-٦/٣) يوصي بأن يكون قطر الأعمدة لا يقل عن ٣٠ ضعف متوسط قطر حبيبة الكربون. معدلات التحميل الهيدروليكي تكون من ٢ إلي ٨ جالون في الدقيقة/القدم المربع. بذلك يمكن تعيين أطوال العامود المطلوبة للحصول علي زمن التصاق محدد، التقليدي من ٣٠ إلي ١٢٠ دقيقة للسلسلة الكاملة من الأعمدة علي التوالي. عند تنفيذ التجربة يتم تعيين تركيز الملوثات المستهدفة علي فترات منتظمة لكل من التدفقات الداخلة والتدفقات الخارجة لكل من الأعمدة، تسلسل منحنيات الاختراق يمكن توقعها كما في الشكل (١-٦/٣ ب). من هذه البيانات فإنه يمكن تعيين معدل استهلاك الكربون . بدلالة زمن الإلتصاق. يتم توقع تلك المعلومات في الشكل (١-٦/ج) حيث يلاحظ أن معدل الاستهلاك قد وصل إلي أدنى معدل استهلاك. هذه هي طريقة أولية لتصميم عامود الكربون.



(ج)
شكل (6/3) جهاز الاختبار والنتائج المثالية لاختبار القابلية للمعالجة
(أ) مخطط الجهاز القابلية لمعالجة S = نقطة جمع لعينة
(ب) منحنيات الاختراق التقليدية من وحدات المصالح الكربون الرائدة
(ج) توقيت زمن الإتصاف مقابل معدل الاستهلاك.

التجديد: (Regeneration)

الامتصاص عموماً هو عملية عكسية، حيث المواد المتراكمة في الكربون يمكن طردها وإعادة إستخدام الكربون، وفي بعض الحالات يتم التخلص من كميات الكربون المستنفذة القليلة.

للتجديد أو التنشيط الحراري: وهو الأكثر استخداماً، حيث تستخدم فرن المجرمة المتعددة (Multiple Hearth Furnace) أو الفرن للدوار الذي يعمل عند ٨٧٠ إلى ٩٨٠ م (١٦٠٠ إلى ١٨٠٠ فهرنهيت) وزمن مكوث للكربون ٣٠ دقيقة تقريباً. يمكن إدخال البخار للمساعدة في عملية التجديد. يتوقع أن تصل نسبة الفقد في الكربون ما بين ٥-١٠%.

يلزم توفير معدات حماية الهواء من التلوث، وكذلك ما بعد المواقف لضمان الأكسدة الكاملة للأبخرة العضوية وكذلك توفير نظام إزالة للجسيمات.

تقنيات التجديد غير الحراري تستخدم كثيراً عند استخدام الكربون كوسط للإستعادة (Recovery Medium). يستخدم تجديد البخار في استخدامات مجال البخار المتضمنة التدفق التنظيف نسبياً للمواد العضوية المتطايرة. الإستعادة من تدفق التجديد يمكن تنفيذه بالتركيز يليه التقطير للمواد المتطايرة. يمكن أحياناً استثمار تأثير الرقم الهيدروجيني على الإذابة للتأثير في عملية التجديد والتنشيط. فمثلاً، يمكن إمتصاص الفينول من الماء تحت الظروف الحامضية ويسبب طاقة الإمتصاص المنخفضة كثيراً للفينولات، فإن التخلص من الإمتصاص (Desorbed) للإستعادة تحت الظروف القلوية.

التقطير

Distillation

7

١. مقدمة:

التقطير هي العملية المستخدمة كثيراً في الصناعات الكيماوية والبتروولية، نظم التقطير تتراوح ما بين البسيطة ذات الدفعة الواحدة إلى الوحدات ذات أبراج التقطير المتعددة.

التقطير هو عملية فصل المواد الأكثر تطايراً من المواد الأقل تطايراً بعملية التبخير والتكثيف. في المصطلحات الهندسية، يعتبر فصل السائل من الصلب أنه يتبخّر، ومصطلح التقطير يكون معكوساً لفصل إثنين أو أكثر من السوائل بالتبخير والتكثيف. زيادة الصعوبة والتكاليف المتعلقة بالتخلص من المواد الكيماوية مع ارتفاع أسعار المواد الخام قد جعل من التقطير عملية جيدة لاستعادة المذيبات العضوية من تدفقات المخلفات والتي بخلاف ذلك سوف يتم التخلص منها، نقاء المنتج لأي مستوي مطلوب يمكن الحصول عليه نظرياً بالتقطير.

٢. المبادئ العامة للتقطير:

أساسيات التقطير تشمل استخدام الحرارة لخليط السائل، تبخير جزء من الخليط، وإزالة الحرارة من الجزء المتبخر. البخار المكثف الناتج يسمى للمقطر (Distillate)، يكون غني بالمكونات المتطايرة، والمتبقي في القاع الذي لم يتبخّر يكون غنياً بالمكونات الأقل تطايراً. معظم عمليات التقطير التجارية تتضمن بشكل المراحل المتعددة للحصول على زيادة إثراء مقارنة باستخدام عملية للتبخير والتكثيف الفردية.

في التقطير البسيط تستخدم مرحلة إتران واحدة للحصول على الفصل المطلوب، والعملية يمكن أن تكون ذات الدفعة الواحدة أو المستمرة. التقطير المستمر البسيط (والذي يسمى كذلك التقطير الوميضي (Flash Distillation) له تغذية مستمرة إلى مرحلة الاتزان. حيث كلا من السائل والبخار الخارج من المرحلة يكونا في حالة إتران، التقطير الوميضي يستخدم في التطبيقات حيث يكون فصل الخام. فصل المكون هو تقطير بسيط ويكون محدوداً بقيود تقسيم الديناميكا الحرارية لذلك فإن المراحل المتعددة يجب أن تستخدم لزيادة كفاءة الفصل.

المراحل المتعددة (Multiple Staging) في تصميم العمود يتم الحصول عليه بعودة جزء من المكثف فوق رأس الأبخرة نحو قمة العمود، بذا مسبياً إلتصاق هذا السائل المعكوس مع الأبخرة الصاعدة . المستخدم عادة هو إما عمود الحشو أو عمود الصواني لتوفير تداخل بين السائل والغاز للانتقال الحراري. درجة فصل المكون لشكل النظام يعتمد علي ظروف التشغيل، وعدد المراحل، وكمية مادة الانعكاس المعادة (Reflux).

٣. وصف عملية التقطير:

للتقطير يمكن أن يتم بطريقتين وهما طريقة الدفعات (Batch) والطريقة المستمرة.

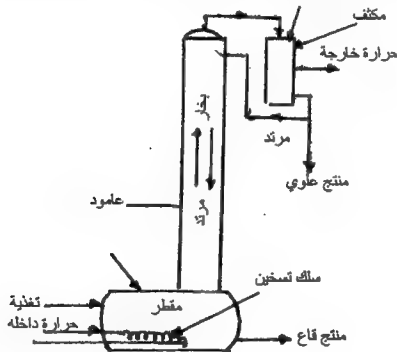
التقطير (التبايني) علي دفعات (Batch (Differential Distillation)

تتكون معدة التقطير علي دفعات من وعاء يتم تسخينه (المقطر) ، مكثف لتكثيف البخار الصاعد، ومجمع (ضروري عند استخدام الارتداد (Reflux)) والعديد من أوعية الاستقبال لجمع المنتجات من القمة ومن القاع. الاستخدام يتضمن شحن دفعة من التغذية إلي المقطر يلي ذلك علي خليط للتغذية. تدفقات الأبخرة العلوية يتم تكثيفها وجمعها في وعاء استقبال مناسب، الانعكاس أو الارتداد والذي هو عبارة عن عودة بعض المكثف إلي المقطر، يمكن أن يستخدم أو لا يستخدم ، طبقاً لمكونات المنتج المطلوبة. إستخدام نظام تقطير الدفعة البسيط يكون عادة لعمليات الفصل الأولية حيث للمنتجات تكون محتجزة لعملية فصل ثانية في وقت لاحق.

في معظم عمليات التقطير علي دفعات، فإن مكونات المنتجات العلوية والسفلية تتغير مع استمرار التقطير. في عدم وجود الارتداد (Reflux) أو عند نسبة ارتداد ثابتة، فإن المنتج العلوي سوف يصبح مع استمرار التقطير غني في المحتوى من المنتجات الأقل تطايراً، بينما المتبقي، المنتج السفلي يصبح فقيراً في المكونات الأكثر تطايراً. لذلك، فإنه إما مكونات المنتج العلوية أو مكونات للمنتجات السفلية قد يملئ الحد الذي يتم به تنفيذ عملية التقطير.

للحصول علي منتجات خلال مجال محدود للمكونات، فإنه يمكن إستخدام التقطير علي دفعات مع التقطير. مكونات هذا النظام في الشكل (٧/١) وهي الوعاء، عمود التقطير، المكثف، المجرئ (Splitter) لعودة جزء من المقطر كمرتد، وولحد أو أكثر من أوعية الاستقبال للمنتج. في التشغيل، يتم شحن دفعة تغذية عند القمة، ووضع النظام في حالة ثبات تحت حالات الارتداد الكلي (Total Reflux) بمجرد الحصول علي حالة للثبات، إزالة بعض من المنتج العلوي (هذا الجزء لا يتم إعادته إلي العمود كمرتد) تبدأ. يمكن الحصول علي بعض التحكم لمكونات المنتج العلوي من خلال ضبط المناسب لنسبة المرتد مع تقدم التقطير. طبقاً لكل من (Perry And Chilton) يوضح أسلوبين للعمل (١) ثبات نسبة

المرتد مع تغير مكونات العلوي. (٢) ثبات مكونات العلوي مع تغير نسبة المرتد. في الطريقة الأولى، يتم التقطير عند نسبة ارتداد ثابتة ومسبق تعيينها حتى الوصول إلى متوسط مكونات المقطر بالمقدار المطلوب. عند هذه النقطة، يتم تحويل المنتج العلوي إلى وعاء استقبال آخر، ويتم سحب قطعة (Cut) متوسطة حتى وصول السائل المتبقي في الوعاء المكونات المطلوبة. للطريقة الثانية، ثبات المكونات العلوية يمكن استمراره بالزيادة المستمرة لنسبة المرتد مع تقدم الدورة (Run). مع نقطة الاقتراب من الارتداد الكلي (Total Reflux) فإن للعلوي يتم تحويله إلى وعاء استقبال مختلف، وخفض نسبة المرتد. القطعة المتوسطة يتم عندئذ جمعها (كما في الحالة الأولى) للحصول على المكونات المطلوبة في السائل المتبقى.

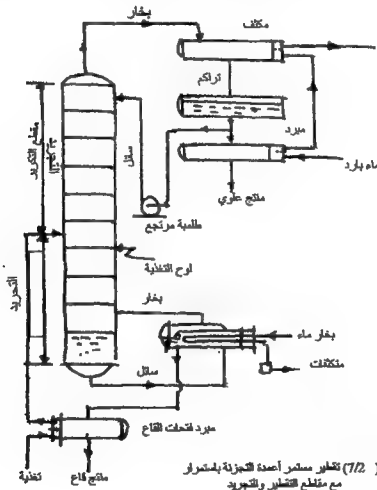


شكل (7/1) للتقطير المرحلي. مقار بعמוד تجزئه

التقطير المستمر: (Continuous Distillation)

التقطير المستمر شكل (٧/٢) يتضمن التغذية المستمرة للتدفقات في عمود تقطير تم تصميمه جيداً. تدفق الغذاء (سائل، بخار، أو خليط) تتم تغذيته إلى العامود الذي يحتوي ألواح أو حشو ومصمم لتوفير الالتصاق المحكم بين البخار والسائل. الحشو يستخدم فقط في المعدة ذات القدرة الصغيرة. في حالة استخدام تدفق غذاء واحد فإن مجموعة الألواح (Cas Cade) فوق نقطة دخول الغذاء تسمى مقطع للتكرير أو التقويم (Enriching Section)

للعامود. الدرجات (Cas Cade) أسفل مرحلة التغذية تسمى مقطع التجريد (Stripping). البخار يساعد خلال مقطع التكرير للعامود يتم غسيله بالسائل لإزالة المكونات الأقل تطايراً ، بينما السائل في مقطع التجريد للعامود يتم تجريده من المكونات الأكثر تطايراً بالبخار المساعد في ذلك المقطع. يستخدم المكثف لتكثيف البخار العلوي الذي يخرج من مقطع التكرير للعامود. جزء من هذا المكثف يتم سحبه باستمرار كمنتج علوي، بينما الباقي من المكثف تتم عودته إلي العامود كمرند. عند قاع العامود يتم جمع السائل الذي يترك مقطع للتجريد في إعادة الغليان (Reboiler)، حيث يتم تسخينه لإنتاج بخار الماء الذي يعود إلي العامود، جزء السائل الذي لم يتبخر والعائد إلي العامود يتم سحبه باستمرار كمنتج للقاع.



٤. حدود التقطير:

أ. المعدات وقيود الاستخدام:

التقطير هو عملية معقدة إلي حد ما مع وجود عدد من المحددات نحو جدواها،

- (١)- المعدات والأجهزة المستخدمة في التقطير تُعد ضخمة نسبياً حيث قد يصل الارتفاع حتى ٦٠ متر ويمكن أن تغطي مساحة ضخمة.
- (٢)- المعدات مكلفة.
- (٣)- معدات التقطير عادة معقدة ويلزم عمالة عالية الكفاءة لتشغيلها.
- (٤)- هذه التقنية مستهلكة للطاقة.

ب. ملاءمة الاستخدام لأنواع المخلفات:

يوجد العديد من القيود لخصائص المخلفات الطبيعية والكيميائية التي يمكن معالجتها بالتقطير. أحد تلك القيود هو أن التغذية لعمود التقطير المستمر يجب أن يكون مائع حر التدفق ذو محتوى مهمل من المواد الصلبة. للمواد الصلبة يمكنها حدوث انسداد وترسيبات داخل العمود. في حالة وجود مواد صلبة في مادة المخلفات أو سوائل عالية اللزوجة فإنه يلزم عمل بعض عمليات الإعداد المسبق. ولكن توجد بعض السوائل حرة التدفق التي لا يمكن أن تعالج بالتقطير، وهذه تشمل (Organic Peroxides, Organics) وبعض المخلفات غير العضوية). كذلك فإن التغذية بالمواد التي تميل إلى التبخر يمكن كذلك أن تسبب صعوبة في الشكل (التشغيل تدفقات المخلفات الخطره حيث إزالة وإستعادة للمواد المتطايرة بالتقطير.

تكون مناسبة هي السوائل العضوية، بما فيها المذيبات العضوية، المواد العضوية المهلجنة. المخلفات الصناعية التي يمكن تدولها بالتقطير تشمل الآتي:

- مخلفات الطلاء الكهربى المحتوية علي مكونات عضوية- عادة المذيبات يتم تبخيرها والأبخرة العضوية تقطيرها.
- للمخلفات المائية المحتوية علي الفينول.
- مخلفات (Poly Urethane) المحتوية علي ميثيلين كلوريد.
- خليط Ethyl Benzene - Styrene.
- مخلفات المذيبات عادة خليط يحتوي الكيتونز، الكحولات، الأروماتيك.
- مخلفات زيوت التزليق.
- المخلفات المحتوية علي (Butyl Acetate) المنتج من المضادات الحيوية.

ج. المحافظة علي مكونات المنتج وتدفق التغذية:

كما هو متوقع للتقطير المستمر ليس مناسباً للمخلفات ذات التغيرات الكبيرة في المكونات. هذا بسبب تعقيدات العملية (استجابة برج التقطير للتغيرات في مكونات تدفقات التغذية بما يحافظ علي المكونات المطلوبة للمنتجات العلوية والسفلية).

تصميمات التقطير علي دفعات تستخدم أحياناً في الحالات حيث الخليط ذو محتويات متغيره كثيراً يلزم تقطيره ها. كما ذكر سابقاً فإنه يجب مراعاة نسبة الارتداد (نسبة الارتداد) للتحكم في مكونات المنتج العلوي. بالإضافة إلي أن شحنة وحدة الدفعات قد تكون ذات محتوى عالي من المواد الصلبة لو قد تحتوي علي القار أو الراتنجات التي يمكن أن تسبب الانسداد. مثل تلك المواد ترسب في الوعاء ويتم إزالتها بعد نهاية العملية. لاستخدام معين يتم دراسة الاختبار بين الطريقة المستمرة والتي علي دفعات توجد حالات كثيرة حيث يكون التقطير علي دفعات مفضلاً ولكن يكون من الصعب استمرار المحافظة علي مكونات المنتجات عند مستوي ثابت. التقطير علي دفعات يفضل حيث:

١. لتغير الكبير في مكونات شحنة الغذاء.
٢. الغذاء يحتوي علي كميات كبيرة من المواد الصلبة والتي يمكن أن تسبب انسداد أو ترسيبات في حالة الوحدة التي تعمل باستمرار .
٣. يكون المطلوب أحياناً البدء والاقفاف الكثير بسبب الامداد غير المنتظم بالغذاء.

٥. اعتبارات التصميم للعملية:

في عمليات التقطير، عدد الألواح أو المراحل المطلوبة لعملية فصل معينة يتوقف علي معدل الارتداد (Reflux Rate). مع زيادة الارتداد، فإن عدد المراحل المطلوبة يقل. نسبة الارتداد اللانهائية تكون مطلوبة عند أدنى عدد من المراحل، عدد المراحل اللانهائية يكون مطلوباً عند أدنى ارتداد مطلوب لتأثير الفصل، أفضل عملية ستكون من الواضح بين هذين الحدين.

مع زيادة معدل الارتداد ، فإن عدد المراحل المطلوبة يقل، بما ينتج عنه انخفاض في التكلفة للعمود، حتي أن قطر العمود يجب أن يزيد لاستمرار هبوط مقبول في الضغط مع الزيادة في تدفق البخار. ولكن مع زيادة الارتداد يزداد بالتناسب متطلبات بخار إعادة الغليان، البخار هو أكبر تكلفة تشغيل حيث يمثل ٥٠%.

في نظام التقطير، مع انخفاض نسبة الارتداد حيث المحافظة علي درجة ثابتة لفصل المكون، فإنه توجد مواعمة ما بين زيادة الاستثمارات الرأسمالية (أي زيادة الصوتاني أو المراحل المطلوبة) وانخفاض تكاليف البخار وماء التبريد.

٦. اختيار عناصر المعدة:

أ. غلاف العמוד: (Column Shell)

غلاف عמוד للتقطير يمكن تصميمه إما في الشكل حر الوقوف أو أن يكون محمولاً بواسطة منشأ من الصلب. العמוד ذات التحميل الذاتي يكون اقتصادي. تصنيع العמוד يكون قطعة واحدة (بدون فلنجات الغلاف) وذلك لكونه اقتصادي مقارنة بفلنجات الغلاف ، بالإضافة إلي سهولة الإنشاء والتخلص من مصادر التسرب . معالجة المخلفات الخطره قد يحتاج إلي فلنجة لتسهيل النظافة.

تم تصنيع أعمدة بأقطار تزيد عن واحد متر. تم وضع التحشية قبل نقل العמוד بقطر ٥١ سم أو أقل حيث يستخدم تحشية (Packing) من الشبك المعدني. الأعمدة الأكبر يتم تحشيتها في الموقع لمنع نمج التحشية عند النقل.

توجد متطلبات إضافية والتي تشمل رصيف الاقتراب، سلام للتوصيل للأعمدة حرة الإنشاء.

أ- دحلل للعמוד (Column Internals)

(١) تجهيزات الصانية (Tray Devices)

توجد خمسة أنواع أساسية من صواني للتقطير هي:

المنخل (Seive)، المحبس (Valve)، غطاء الفقاعة (Bubble Cap)، التدفق المزدوج (Double-Flow)، صواني الإعاقة (Baffle Trays).

كل منهم له مزاياه الخاصة واستخداماته المفضلة، كل من صواني المنخل والمحبس عادة توصف لأبراج الصواني (Tray Towers).

التصميم الهيدروليكي للصانية عامل هام جداً. حد الأداء العلوي عموماً يحكم بنقطة الطفو، رغم أنه في بعض الحالات أن السحب (مع البخار المتقلب) (Entrainment).

يمكنه أن يعيق الأداء. السحب يقلل من التكرجات في التركيز لأن بعض السائل يتدفق إلي أعلا العמוד، وبذا يخفض الكفاءة . كذلك فإن العמוד يمكن أن يغمر بواسطة الدعم القادم من أسفل. الصواني تملأ والضغط تزداد عندما يكون القادم من أسفل (Down Comer) غير قادر علي تدلول كل السائل للمستهدف. يمكن أن يحدث ذلك مع السائل الذي يزيد بغزارة . الغمر يصاحبه خفض كبير في ضغط الصواني وفواصل صغيرة بين الصواني.

الحد السفلي لعمل الصانية يتصف بزيادة نزيف السائل من صانية إلي التالية.

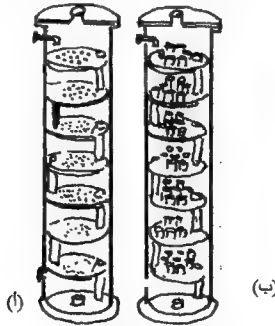
ليس كما في حالة الانتقال إلى أعلا للسائل خلال السحب مع البخار. (Entrainment)، فإن تدفق نزييف السائل يكون في الاتجاه العادي، ويمكن قبول كميات كبيرة قبل أن تتأثر كفاءة العمود كثيراً. مع انخفاض معدل البخار، فإنه يتم الوصول إلى نقطة حيث يكون كل السائل ينزف ولا يوجد عازل سائل علي الصانعة. هذا يعرف بنقطة التخزين (Dump Point) والتي دونها يوجد انخفاض شديد في الكفاءة.

– صانعة المنخل: (Sieve Tray)

صانعة المنخل شكل (٣/٧-١) هي تكلفة رخيصة السعر والتي تتكون من لوح مثقب والذي عادة يكون له ثقب بقطر من ٠,٥ إلى ٢,٥ مم، وماسورة سحب سفلي (Down Comer) وهدار خروج. (Outlet Weir). رغم أنه غير مكلف، فإنه في حالة التصميم الجيد يمكن مقارنته بأنواع للصواني الأخرى بالنسبة لإمكانات السائل والبخار، الانخفاض في الضغط والكفاءة، ولكن مرونته متدنية مقارنة كذلك لصواني المحبس وفقاعة الغطاء، وأحيانا يكون غير مقبول للتدفقات المنخفضة للسائل عند تقليل للنزيف.

• صانعة التدفق المزدوج: (Double Flow Tray)

صانعة للتدفق المزدوج هي صانعة المنخل ذو مساحة الثقب العالية بدون ماسورة نازلة للتصريف السفلي (Down Comer). السائل المتدفق إلى أسفل يمر خلال نفس الثقوب مثل البخار الصاعد. نظراً لعدم استخدام ماسورة للتصريف السفلي ثبات سعر الصانعة يكون أقل عن صانعة المنخل التقليدية.



شكل (٣/٧) أ. عمود صانعة المنخل
ب. عمود صانعة الفقاعة

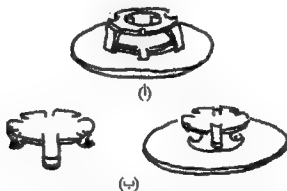
• صانبة المحبس: Valve Tray

الأنواع الحديثة لصواني المحبس شكل (٧/٤) توفر المميزات الآتية:

- الإنتاجية والكفاءة يمكن أن تصل إلى مستوى صواني المنخل وفقاعة الغطاء.
- مرونة عالية جداً يمكن الحصول عليها مع سهولة الحصول على نسبة الرجوع السفلي (turn Down Ratio) تزيد ٤:١ بدون حدوث انخفاض كبير في الضغط عند نهاية مجال العمل.
- تصميمات محبس خاصة مع فتحات ذات الشكل الفنشوري متاحة للمهام المتضمنة انخفاض قليل في الضغط.
- رغم التكلفة العالية قليلاً مقارنة بصانبة المنخل فإن صانبة المحبس إقتصادية جداً.

صانبة غطاء الفقاعة (Bubble-Cap Tray)

صواني غطاء الفقاعة شكل (٧/٣) نادر استخدامها حالياً وهي مناسبة للتدفقات المنخفضة للسائل.



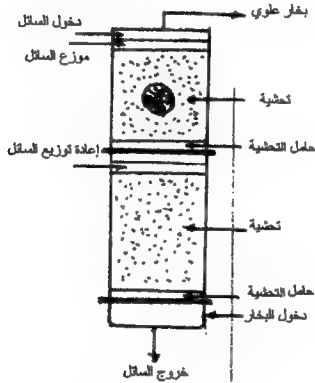
شكل (٧/٤) المحبس المستخدمة في أصدة صانبة المحبس
(أ) محبس مرحلتين خالص بغطاء خفيف للتحفة للتقليل الكمال
(ب) اثنين من المحبس تفيد في كل أنواع الخدمة

صانبة الإعاقة: (Baffle Tray)

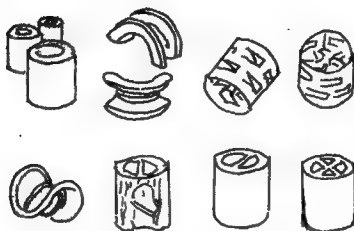
السائل يتدفق أسفل عمود صانبة الإعاقة وذلك بالدفق (Flashing) من صانبة إلى أخرى التالية السفلية، الأبخرة أو الغازات ترتفع خلال تلك الستارة من رش للسائل. رغم ضعف كفاءة هذه الصانبة فإنها مفيدة في معالجة تدفقات المخلفات وذلك عندما يحتوي السائل على جزء كبير من المواد الصلبة.

(٢) - حشو العمود: (Column Packing)

الحشو هو الطريقة الاقتصادية لالتصاق تدفقات السائل والغاز في أعمدة التقطير، وخاصة للأعمدة ذات القطر الصغير. معظم الحشو يمكن شراؤه بالقدم المكعب، بالإضافة إلى أن التصميم الميكانيكي وتصنيع عمود الحشو يعتبر بسيطاً إلى حد ما شكل (٧/٥). الحشو محدود في استخدامات معالجة المخلفات بسبب ميله للترسيبات وضعف أدائه عند التدفقات المنخفضة للسائل أو عند زيادة قطر العمود بسبب مشاكل توزيع السائل. الحشو الأكثر استخداماً هو الذي يتم استخدامه ووضعه عشوائياً مثل حلقات راشيخ، شكل (٧-٥) حلقات الكورة، قفاز السيراميك شكل (٧/٦).



الشكل (7/5) توضيح لدخول عمود الحشو



شكل (7/6) أنواع تقطية مستخدمة في أجهزة الطرد

بينما مواد التحشية من البلاستيك لها ميزة مقاومة للتآكل، إلا أن القدرة علي البلل الذاتي تكون أحيانا ضعيفة، وخاصة في النظم المائية، وهذا يزيد إلي حد كبير الارتفاع للوح مقارنة بالتحشية من السيراميك. أن استخدام شبكة للنسيج السلبي أصبحت ذات بلل ذلك بسبب الخاصية الشعرية. وهذا يساعد في التوزيع الجيد للسائل مع تدفق السائل خلال التحشية في شكل متعرج. في حالة الاستخدام الجيد فإن التحشية يمكن أن توفر الارتفاع المكافئ للوح في المجال من ٣٠ إلي ٦٠ سم. وهذا يساعد علي خفض ارتفاع العمود.

الأجهزة: Instrumentation

أحد أهم المتطلبات الهامة لأي نظام تقطير هو القدرة علي استمرار المكونات العلوية والسفلية صحيحة من العمود بواسطة التحكم الجيد وتجهيزاته. للتحكم الجيد يمكن تحقيقه باستخدام نظم التحكم الهوائية أو الإلكترونية.

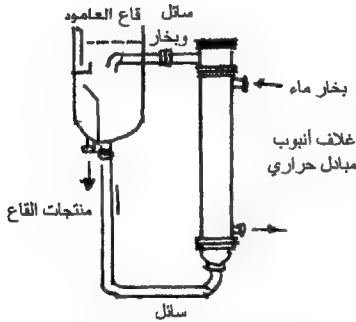
إعادة الغليان: (Raboller)

رغم وجود الكثير من أنواع غلايات إعادة الغليان فإن النوع من الغلاف والأنبوب بطريقة السيغون الحراري هو المستخدم غالباً. الغليان خلال الأنابيب الرأسية للمبادل تنتج دوران للسائل وبالتالي عدم الحاجة إلي طلمبة النظام موضح في الشكل (٧/٧).

المكثف: (Condenser)

حيث أن معظم مكثفات عمود للتقطير تكون من نوع الغلاف والأنبوب، فإن لدى المصمم الاختيار للتكثيف إما علي جانب الغلاف أو علي جانب الأنبوب، ولكن يفضل التكثيف علي جانب الغلاف، حيث أي مياه تبريد علي جانب الأنبوب يمكن إزالة أي

ترسيبات بسهولة. علي الجانب الآخر التكتيف علي جانب الأنبوب يمكن أن يكون مفيداً حيث خصائص السائل تملئ استخدام مادة أكثر تكلفة، سامة . في تلك الحالة يمكن خفض التكلفة باستخدام غلاف من الصلب الكربوني.



شكل (7/7) تنظيم إعادة الغليان للغلاف والأنبوب بالسيفون الحراري

تقنيات الاستعادة الإليكتروليتيّة

Electrolytic Recovery Techniques

8

١. مقدمة:

تستخدم تقنيات الاستعادة الإليكتروليتيّة لاستعادة المعادن من مياه الشطف (Rinse Waters). تلك المعادن يجب أن يتم إزالتها أو استعادتها من التدفقات قبل التخلص منها إما طبقاً للمعايير البيئية أو لاستعادة المعدن لقيّمته الاقتصادية.

تقنيات الاستعادة الإليكتروليتيّة مبنية علي تفاعل الأكسدة-الاختزال الذي يحدث علي سطح الأقطاب الموصلة (الكاثود والأنود). يتم غمر الأقطاب في الوسط الكيميائي تحت تأثير الجهد الكهربائي المستخدم. عند الكاثود يحدث اختزال لأيون المعدن إلي الحالة المعدنية. في نفس الوقت يمكن أن يصعد عند الأنود منتجات غازية مثل الأكسجين، الهيدروجين أو النتروجين. الغازات المنتجة عند الأنود تتوقف علي المكونات الكيميائية للوسط الكيميائي.

الأنواع المذابة مثل السيانيد تتأكسد عند الأنود.

المعدة المستخدمة في العملية تتكون من:

١. المفاعل الكهروكيميائي المحتوي علي الأقطاب.

٢. نظام تنفيث للغاز.

٣. طلمبات تدوير.

٤. مصدر للطاقة.

بعد وصول التقطية للمعدنية أو الترسيب عند الكاثود السمك المطلوب، فإن المعدن يمكن إزالته وإعادة استخدامه أو بيعه، في صناعة الطلاء الكهربائي، كمثال، فإن المعدن الذي تم استعادته والذي يكون نقياً يتم إما عودته إلي حوض الطلاء، أو الاستخدام الكاثود المغطى بالمعدن كآنود في حوض الطلاء المعني.

لقد استخدمت تقنيات الإستعادة في استعادة النحاس، النيكل، الزنك، الفضة، الألومنيوم، الذهب، ومعادن ثقيلة أخرى، للعملية يمكن أن تتحمل نفقاتها لمدة حوالي عام عند استعادة معادن ثمينة مثل الذهب.

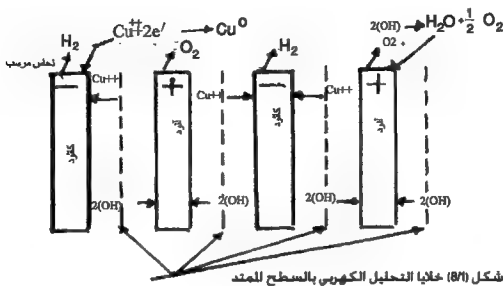
٢. وصف العملية : (Description)

التفاعل الكهروكيميائي التقليدي يتكون من أقطاب (Electrodes)، تجهيزات مصاحبة مثل ظلمبات التدوير، ومصدر للطاقة. تصنع الكاثودات من الصلب المقاوم بعرض ١٥٠ ملليمتر تقريباً، حيث ترسب عليه المعدن المستهدف استعادته. مع وصول التغطية أو ترسيب المعادن السمك الكافي (٦ ملليمتر) (١٥، بوصة) فإنه يمكن إزالة المعدن المرسب وعموماً يتم إعادة استخدامه أو بيعه، كاثود الصلب المقاوم المغطي بالمعدن يمكن عندئذ استخدامه كاثود في أحواض الطلاء المعدني. وهذه هي الطريقة المستخدمة في الصناعات الكهروكيميائية. حوض الاستعادة الإليكتروليتي يتم تصميمه عادة لإنتاج معدلات تدفق عالية في قناة ضيقة.

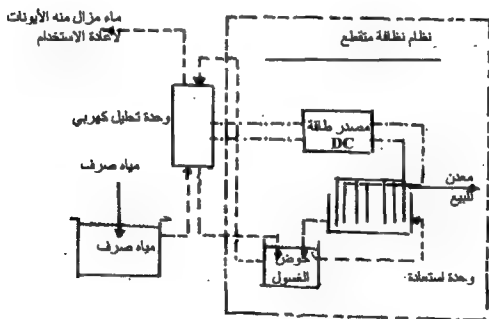
حوض الاستعادة التقليدي يكون عالي الكفاءة عند التركيز العالي وليس عند التركيز المنخفض بسبب الحالات الحدية لانتقال المادة. نتيجة لذلك، فإن تجهيزات الاستعادة الإليكتروليتيّة، تم تطويرها وإتاحتها تجارياً، تلك التجهيزات أو الخلايا قد تكون في شكل طبقة مدمجة أو طبقة تميو، الخلايا ذات الأقطاب الملفوفة حلزونية أو الخلايا ذات الأقطاب الاسطوانية للدورة. أحد مثل تلك للتجهيزة المتقدمة الإليكتروليتيّة للاستعادة هو نظام الاستعادة بالتحليل الكهربائي للمسطح الممتد (ESE)(Extended Surface Recovery) (System) هذا النظام ليس مثل تجهيزات الاستعادة التقليدية إستعادته للمعدن أفضل عند التركيزات المنخفضة مقارنة بالتركيزات العالية. ولكن، آلية إزالة المعدن هي أساساً مثل الأنواع التقليدية.

في خلية (ESE) الحلزونية هي ذات بناء في شكل الساندوتش، والتي تحتوى علي كاثود منشف (Fluffy)، عازل مسامي، أنود من مادة في شكل الشبكة وعازل آخر، مادة الكاثود عادة تكون منخل من شعيرات الصلب المقاوم المنسوج. ولكن مادة الأنود والكاثود قد تتغير طبقاً للتدفق المطلوب معالجته. الكاثود، مادة العازل، والأنود يتم تشكيلهم في شكل ساندوتش واللف (Rolled) في شكل الحلزوني ووضعها في أنبوب. بناء من هذه الخلية ينتج بناء مفتوح جداً وله حجم فراغات بنسبة ٩٣-٩٥ %، والذي يوفر مقاومة ضعيفة لتدفق السائل.

عدد من الخلايا يمكن رصه في عدد من المجموعات بحيث أنه يمكن استعادة جزء كبير من المعادن الملوثة من تنفقات السائل. المحلول المطلوب معالجته يتم ضخه عند قمة المجموعة (Module) ويتدفق إلي أسفل خلال الخلايا، حيث المعادن يتم ترسيبها علي الكاثود، الشكل (٨/١) يوضح هذه العملية وذلك في حالة التنفقات المحتوية علي النحاس.



للتفاعل يحدث باستمرار مع ضخ المائل خلال مختلف الخلايا في مجموعات الخلايا. الشكل (٨/٢) يوضح إمكانية وضع نظام الاستعادة هذا في خط للطلاء المعدني. المعدن المتركم على الكاثود عادة يتم تجريده بتدوير حامض منظم خلال الخلية.



تجهزه استعادة الإليكتروليتيّة أخرى متقدمة هي المفاعل عالي المساحة السطحية (HSA-High Surface Area Reactor) . هذا للمفاعل يمكن استخدامه لمعالجة تدفقات الطلاء المعدني أو أي تدفقات أخرى محتوية علي معادن. الكاثود يحصل علي مساحة سطحية عالية باحتواء عدد كبير من حوائث شعيرة الكربون. تلك الحوائث تجمع المواد من إنسكاب حوض للمقطر خلال الاستدالم عند توقف عملية الطلاء المعدني، فإن محاليل الحوض يتم سحبها من الحوض إلي قسم منفصل للمفاعل حيث يزال للمعدن من الكاثود بواسطة عملية كهروكيميائية وأحياناً بواسطة عملية كيميائية.

تجهيزات استعادة إليكتروليتيّة متقدمة أخرى مثل مفاعلات طبقة التميؤ الكهروكيميائية، متاحة تجارياً لإزالة واستعادة للمعادن من المحاليل المخففة، هذه العملية تجعل الاستعادة من التدفقات المخففة مفضلة اقتصادياً، للخلية الكهروكيميائية تتكون من أقطاب الشبك المعدني الممتد ذو الثقوب المتساوية (Apertured Expanded Metal Mesh) مغمورة في طبقة من حبيبات الزجاج الصغيرة. الطبقة تتما إلي حوالي ضعف عمقها المدموك يضخ مياه الشطف إلي أعلا خلال موزع وخلال الطبقة. حبيبات الزجاج تحك باستمرار سطح القطب، بدأ، إحضار له محلول طازج عند نقص تركيز الأيون في المحلول قرب السطح . تزال الأقطاب علي فترات منتظمة لإزالة المعادن التي تم استعادتها. هذا النوع من المفاعل الكهروكيميائي يستخدم لاستعادة الذهب والفضة، الكاديوم، النيكل، النحاس والزنك في كثير من المنشآت.

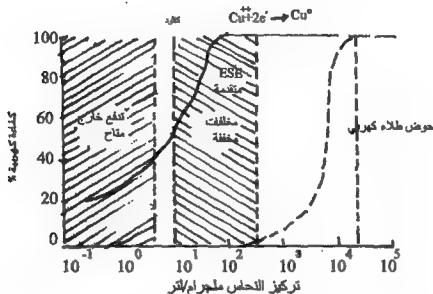
٢- اعتبارات التصميم:

أ- القيود الطبيعية:

المعايير ذات التأثير علي استعادة للمعادن باستخدام الوسائل الكهروكيميائية هي التركيز الأولي للمعدن، امداد الطاقة، وخواص الأقطاب . تلك المعايير تتدخل كالأتي:

كما سبق الإشارة إليه، الاستعادة الإليكتروليتيّة التقليدية تكون جيدة فقط عند التركيز العالي للمعدن، لذلك تم تطوير معدة حديثة للاستعادة الإليكتروليتيّة. المشكلة الرئيسية نحو استخدام الاستعادة الإليكتروليتيّة التقليدية للماء المخفف هي استقطاب الكاثود. في مثل هذا النظام، نظراً لترسيب المعدن علي القطب ، فإن طبقة المحلول التالية للقطب التي تنقصر للمعادن تكون طبقة استقطاب التي توفر المقاومة العالية لتحرك المعدن نحو القطب. شدة استقطاب الكاثود يمكن أن يؤدي إلي ترسيبات ذات نوعية ضعيفة وسوداء، ومسحوقية، ومساحات محروقة، التي يمكن أن تنمو عبر الأقطاب وخارج الخلية. هذه المشكلة عموماً

تقلل كفاءة القطب، حيث تستخدم الكهرباء لتحليل المياه وتكون غاز الهيدروجين بدلاً من الطلاء المعدني. يمكن حل هذه المشكلة بتقليب المحلول ، إستخدام كثافة تيار منخفضة، أقطاب ذات مساحة سطحية عالية، أو، كما في طبقات التميؤ، يجعل القطب ملتصقاً مع التدفقات الطازجة الداخلة. تأثير تركيز المعدن (باستخدام النحاس كمثال) على الكفاءة الكهربائية موضح في الشكل (٨/٣).



شكل (٨/٣) تأثير التركيز على الكفاءة الكهربائية في اختزال للمعادن

xxx = التحليل الكهربائي بالسطح المعتمد

٤. نتائج من دراسات حالة:

تم استعادة للقصدير والفضة كهروكيميائياً من مياه الشطف باستخدام الطرق التقليدية . باستخدام مساحة كاثود ٤,١ متر مربع (٤٥ قدم مربع) وكثافة تيار من ٥ إلى ٨٠ أمبير/القدم المربع ومعدل تدفق ١,٢ جالون في الساعة (٠,٠٠٥ متر مكعب / الساعة) فإن كفاءة الاستعادة للقصدير من ٩٧ إلى ٩٩% ولكن كفاءة التيار كانت ٧٠% بالنسبة للفضة كانت كفاءة الاستعادة ٩٩,٨% . في هذه الحالة كان معدل التدفق ٠,٠٠٣ متر مكعب في الساعة (٠,٨ جالون / ساعة) مع مساحة كاثود ٣,١٥ متر مربع (٣٥ قدم مربع) ، وكثافة التيار من ٣-٥ أمبير/القدم المربع. كانت كفاءة التيار من ٢٥-٥٠%.

للكاثود مصنوع من شعيرة الكربون وله نسبة عالية ما بين للمساحة السطحية إلى الحجم وهذا المفاعل يمكنه استعادة ٩٩,٩% من المعادن في تدفقات الصوف. كما يمكن لهذا المفاعل التدمير والأكسدة الكهربائية للسايانيد إلى دون حد الاكتشاف.

الفصل التاسع

التحلل بالماء

Hydralysis

9

١. مقدمة:

العديد من الكيماويات يتفاعل مع الماء. بعض التفاعلات تكون مصاحبة لتوليد الحرارة أو أحجام كبيرة من الغاز أو إنتاج حدود قصوي للرقم الهيدروجيني (pH) أو مع مجموع أي من تلك أو كلها. كثير من الكيماويات تحتفظ بهذه الصفات عندما تصبح من المخلفات. أنه ليس مجدياً استخدام التخلص الأرضي المباشر لتلك المواد التي تتفاعل مع الماء حيث قد تشتعل، أو تتفجر/ أو تنتج غازات سامة أو حالات شديدة الحموضة أو القلوية إما خلال عملية التخلص الأرضي أو لاحقاً في الردم الأرضي. لذلك، فإنه يجب التخلص من تلك الخواص للنشطة كلما أمكن ذلك مثل التخلص النهائي من المادة. بعض البدائل المتاحة لعمل ذلك هو: الحرق المحكم، الحرق في الحفر المكشوفة، الانفجار والتفاعل الكيماوي. ليست كل المواد التي تتفاعل بشكل سيء مع الماء يمكن حرقها وفي حالة إمكان ذلك فإنه دائماً يكون غير مفضلاً. التفاعل للكيماوي بتحلل الماء هو طريقة جيدة لإزالة تلك الخواص الخطره.

٢. الاستخدام:

التحلل بالماء عملية إزالة التفاعلية من المواد العضوية وغير العضوية في الغاز، السائل، أو المجال الصلب. التقسيم العام للكيماويات النشطة المستهدفة هي كالآتي:

- Metal Alkoxides (Sodium Methoxide).
- Metal Amides (Sodium Amide).
- Carbides (Calcium Carbide).
- Cyanates (Methyliso Cyanate).
- Halides (Benzoyl Chloride) Al Chloride.
- Hydrides (Lithium Aluminum Hydride).
- Oxyhalides (Phosphorus Oxybromide).
- Reactive Metals (Potassium).
- Silanes (Trichloromethy Lsilane).
- Sulfides (Phosphorus Pentasulfide).

تلك المواد تعطي فكرة عن أنواع المركبات التي يمكن إدارتها بتحلل الماء. وهذا لا يعني أن تلك الكيماويات يمكن معالجتها فقط بالتحلل بالماء أو أن التحلل بالماء هو دائماً أفضل طريقة.

ولكن التحلل بالماء يمكن إيعاد خواص النشاط التفاعلي بنجاح لتلك المواد. التقنية تمكن مخلفات خطره معينة من أن يتم تدولها بأمان والذي يصعب إدارتها بخلاف ذلك. تلك المخلفات (من التنفقات) تشمل:

- الإيروسولات (تحتوى علي غازات دفع قابلة للاشتعال مثل البروبين تحت الضغط).
- الإسطوانة أو الزجاجات (المحتوية علي غازات مضغوطة مثل الفوسجين).
- بطاريات معينة (محتوية علي مواد نشطة مثل معدن الليثيوم، مادة ثيونيل كلوريد).
- كيماويات معملية (نوعيات كثيرة من الكيماويات ذات التفاعلية مع الماء في أوعية زجاجية أو معدنية).

الكيمياء: (Chemistry)

العديد من التفاعلات بالكيماويات مع الماء يتم وصفه كالآتي:

1- Metal Alkoxides: Sodium Methoxide (Water Causes Ignition).



يتفاعل صوديوم ميثوكسيد مع الماء لإنتاج أيدروكسيد صوديوم وميثانول. أيدروكسيد الصوديوم ينتج محلول عالي الرقم الهيدروجيني (pH) الكاوي والعنواني. الميثانول قابل للاشتعال وسام. التفاعل عالي الإنتاج الحراري.

2. Metal Amides: Lithium Amide (يشتمل في الحال عند الالتصاق بالماء)



هذا التفاعل ينتج أيدروكسيد الليثيوم مع تصاعد غاز الأمونيا، المحلول قلوي وعدواني، والأمونيا ذات رائحة نفاذه. التفاعل عالي الإنتاجية للحرارة وعادة يصاحبه لهب.

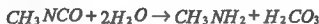
3. Carbides: Calcium Carbide. (ينتج غاز الإسيثيلين عند الالتصاق مع الماء)



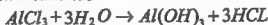
كلا من أيدروكسيد الكالسيوم وغاز الأسيتيلين هما منتجات هذا التفاعل. أيدروكسيد الكالسيوم قبل الذوبان في الماء وينتج محلول قلوي- غاز الاسيتيلين عالي القابلية للاشتعال ويكون مخالط متفجرة مع الهواء من خلال مجال كبير من التركيزات.

4. Cyanates: Methyl isocyanate.

ذلك المركب شديد السمية وينتج محلول ميثيل أمين و كربونات. تحث ظروف التحلل المائي العادية لا ينتج حامض الكربونيك. يظل الميثيل أمين في المحلول وينتج حالات قلوية :



5- Halides: Aluminium Trichloride



هذا التفاعل ينتج أيدروكسيد الألومنيوم وحامض الهيدروكلوريك. الحامض ينتج محاليل ذات رقم هيدروجيني منخفض (pH) ولتي تكون شديدة العدوانية والسمية.

6. Hydrides: Lithium Aluminum Hydride.



المركب يتفاعل بعنف مع الماء وينتج أيدروكسيدات الليثيوم والألومنيوم وكذلك غاز الهيدروجين العادي. الأيدروكسيدات تنتج محاليل عدوانية وغاز الهيدروجين يمكن أن يكون خليط متفجر في الهواء. هذا التفاعل عادة يصاحبه لهب وانفجار.

7. Oxyhalides: Phosphorous Oxybromide.



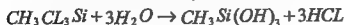
يتفاعل أوكسي بروميد الفوسفور مع الماء لإنتاج حامض الفوسفوريك وغاز بروميد الهيدروجين. بعض من الغاز ينوب في المحلول لتكوين حامض الهيدروبرميك شديد العدوانية، بروميد الهيدروجين شديد السمية. هذا التفاعل عالي الإنتاجية للحرارة.

8. Alkali Metals: Potassium



المعادن القلوية مثل البوتاسيوم تتفاعل بعنف وقوة مع الماء وتنتج أيدروكسيد البوتاسيوم الكاوي العدواني وغاز الهيدروجين القابل للاشتعال والمتفجر هذا التفاعل عادة يصاحبه لهب وانفجار. عند احتراق البوتاسيوم فإنه ينتج أبخرة كثيفة بيضاء سامة من الأكسيد.

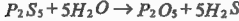
9. Silanes: Trichloromethyl silane.



التحلل بالماء للترأى كلوروميثيل سيلين ينتج حامض الهيدروكلوريك وميثيل سيلانول (Methylsilanol) . السيلانول (Silanol) غير مستقر ويتفاعل بعد ذلك إلى سيلوكزين (Siloxane) (Si-O-Si).

السيلوكزين يرسب خلال التفاعل. كلوريد الهيدروجين ينتج محاليل ذات رقم هيدروجيني منخفض (pH) والتي تتكون شديدة العدوانية والسامة.

10. Sulfides: Phosphorus Pentasulfide,



خامس كبريتيد الفوسفور ينتج كبريتيد الهيدروجين، الغاز ذو الرائحة المنفرة والسام وذلك عند الالتصاق مع الماء، وكذلك مع مركبات الفوسفور للنشطة مع الماء مثل خامس أكسيد الفوسفور. في وجود رطوبة زائدة فإن خامس أكسيد الفوسفور يتحلل ثانياً بالماء لإنتاج الفوسفات (Phosphate). تلك التفاعلات عالية الإنتاج للحرارة.

التعليق:

من تلك التفاعلات من الواضح أن تلك الكيماويات في وجود الماء يمكنها إنتاج ظروف غير مرغوبة بشدة، مثل أحجام كبيرة من الغازات القابلة للاشتعال، المتفجرة، السامة، و/أو محاليل أو سوائل شديدة العدوانية يسبب الحالات القصوى للرقم الهيدروجيني (pH) بين الحموضة والقلوية. في حالات كثيرة يمكن إنتاج كميات كبيرة من الحرارة. لا توجد مثل تلك الحالات في التخلخل الأرضي أو في الظروف غير المحكمة.

ولكن تفاعل التحلل المائي المحكم يمكن أن يبعد تلك الخواص ويجعل المادة آمنة بالنسبة للمعالجة التالية أو التخلخل الأرضي.

٢. التقنية : (Technology)

أ. المبادئ:

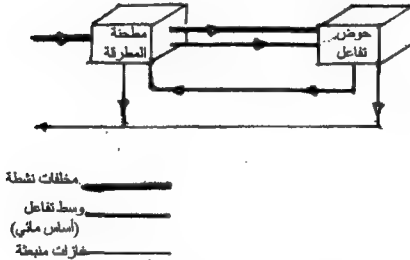
تكنولوجيا التحلل المائي مبنية على حقيقة أن الماء تحت ظروف محكمة ، يخفف بأمان من تفاعل ونشاط عناصر كيماوية معينة ومركبات، حيث المكونات الناتجة يمكن تداولها بأمان. الأمثلة المباشرة للتفاعلات الكيماوية توضح كيف أن الكيماويات شديدة الخطورة مثل معدن البوتاسيوم وأמיד الليثيوم يمكن أن تتفاعل لإنتاج مواد أقل خطورة. في العملية، يمكن إنتاج محاليل ذات رقم هيدروجيني مرتفع أو منخفض وكذلك غازات سامة وقابلة للاشتعال. الغازات للصاعدة يجب أن يتم تداولها بحرص والرقم الهيدروجيني للمحاليل يجب أن يتم ضبطه إلى القيم المتعادلة ليكون آمناً عند المعالجة في وحدة معالجة الصرف. أي مواد صلبة يتم ترشيحها من المحلول يمكن إرسالها إلى الردم الأرضي.

المخطط (٩/١) يوضح المجالات المختلفة للجمع والتداول.

نظراً لأن الكثير من المركبات الكيميائية تتفاعل بعنف مع الماء، حتى في الظروف العادية وبكميات صغيرة نسبياً، فإنه يكون من الضروري تخفيف عملية التحلل المائي بإحكام وسط التفاعل، للرقم الهيدروجيني، للكيماء، درجة الحرارة، ومعدل التدفق. يكون من الضروري دائماً إحكام معدل الإضافة للمركب النشط.

تأمين الأفراد، البيئة والمعدة وهو مبدأ رئيسي. معرفة كيماء أي تفاعل يوفر عمل إجراءات التأمين اللازمة - من المهم إحكام تلك التفاعلات التي:

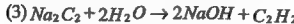
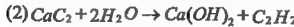
- (١) تنتج لحجام كبيرة من الغازات المتفجرة.
 - (٢) تنتج طاقة حرارية عالية.
 - (٣) تنتج رقم هيدروجيني عالي الحموضة أو عالي القلوية.
 - (٤) ذو جهود أكسدة- إختزال عالية.
- يجب مراعاة التوافق الكيميائي دائماً عند معالجة المخاليط.



شكل (9/1) مخطط لمعالجة المخلفات النشطة

الكربيدات : دراسة حالة : Carbides (Casestudy)

لدراسة تلك النقاط يلزم مراجعة بعض الأعمال لتمكين التفاعل الآمن للكربيدات بواسطة التحلل المائي. الكربيدات تتفاعل مع الماء بدرجات مختلفة.



لا تفاعل BaC

لا تفاعل SiC

ثلاث من مركبات الكربيد تلك (الألومنيوم ، الكالسيوم ، الصوديوم) تتفاعل مع الماء واثنين (الباريوم والسليكون) لا يتفاعل. المجموعة رقم (٢)، (٣) تنتج أسيتلين (C_2H_2) والمجموعة رقم (١) تنتج الميثان. كلا الغازين لهما خاصية القابلية العالية للاشتعال والانفجار، مسببين مشاكل كبيرة في حالة الانطلاق في الردم الأرضي. في حالتنا هذه سيكون كربيد الكالسيوم هو المثال:

من التفاعل رقم (٢) يمكن ملاحظة أن كربيد الكالسيوم يتفاعل مع الماء لإنتاج أيروكسيد الكالسيوم والأسيتلين. الأيدروكسيد الذي هو قليل الذوبان في الماء ينتج محلول قلوي، وحيث معظم المركب يرسب. الأسيتلين ينطلق كغاز.

معدل التفاعل للكربيدات قد يتأثر بعوامل كثيرة تشمل:

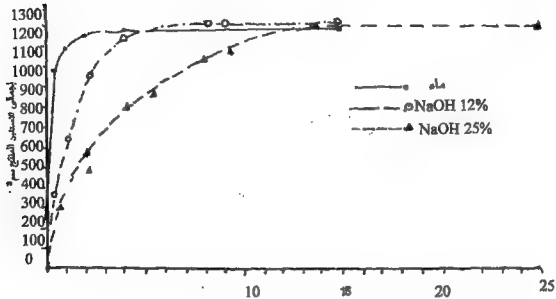
- الكاتايون للكربيد (مثل الليثيوم، الكالسيوم، الألومنيوم، السيليكون).
- الشكل الطبيعي للكربيد (مسحوق، حبيبات، كتل).
- ظروف التخزين.
- درجة حرارة التفاعل.
- الرقم الهيدروجيني لمجال التفاعل.

كربيد الكالسيوم المنتج الطازج يكون باللون الرمادي الغامق إلى الأسود ويكون في الشكل الصلب الذي يتغير في شكل وحجم الحبيبات ما بين المسحوق الدقيق إلى الكتل الضخمة. مسحوق كربيد الكالسيوم الطازج ينتج الحجم، من غاز الأسيتلين أسرع كثيراً عن الوزن المساوي من حبيبات كربيد الكالسيوم الطازج. كلا المادتين تنتج نفس الحجم من الغاز.

عند التخزين غير الجيد فإن اللون يتغير إلى الأسمر الضارب إلى الاصفرار، هذا يبين أن مادة السطح تفاعلت مع رطوبة الجو لإنتاج الأيدروكسيد.

الرقم الهيدروجيني للمحلول يعتبر عاملاً هاماً. هذا تم توضيحه بالإشارة إلى تفاعلات نفس المادة في ثلاث مجالات، مياه المدينة، محاليل أيدروكسيد الصوديوم بتركيزات ١٢%، ٢٥% للشكل (١/٢). من الواضح أنه مع زيادة تركيز المحلول القلوي كلما كان تقدم التفاعل بطيئاً. واقعياً كل الأسيتلين يتم انطلاقه. هذا يبين أنه تحت حالات الاختبار، يكون التفاعل تاماً. في ماء المدينة يتم توليد كل الأسيتلين في ٣ دقائق الأولى، بينما في محلول ٢٥% أيدروكسيد الصوديوم يحدث فقط نصف التفاعل في ذلك الوقت.

من المهم تفهم نشاط التفاعل حيث يمكن حدوث حالات خطره أثناء المعالجة التي يمكن أن يكون من الصعب إحكامها. فمثلاً، في أي من عملية التغذية المستمرة، أو علي دفعات فإن كميات من الكربيد الذي لم يتفاعل قد تتفاعل في توقيت واحد، حيث ينتج أحجام ضخمة من غاز الأمستيلين. إنه ليس من الأمان افتراض أن الكربيد يتحلل بالماء ويكتمل التفاعل في ٣ دقائق تحت كل الظروف. لذلك يجب عمل الاختبار المناسب.



شكل (9/2) التغير في التفاعلية مع تغير الرقم الهيدروجيني (pH)

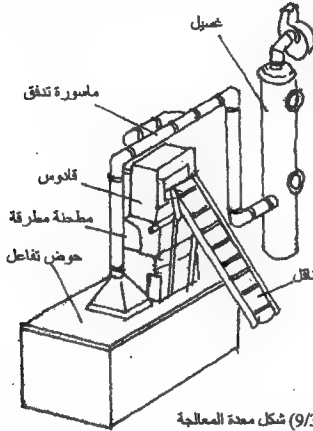
وصف العملية:

طبقاً للمادة اللازم معالجتها فإنه يتم تحضير المحلول المائي المناسب (عادة قلوي نو رقم هيدروجيني أكبر من ١٠.٥) ووضعه في خزان للمفاعل شكل (٩/٣).

يتم تدوير المحلول هذا خلال مطحنة المطرقة (Hammer Mill) عادة بمعدل ٦٠ متر مكعب في الساعة (٢٥٠ جالون في الدقيقة) (يتم ضبط المعدل طبقاً للتفاعل المقترح) ثم العودة إلي حوض التفاعل. يتم إدخال مادة للتفاعل إلي مطحنة المطرقة بواسطة ناقل أو قادوس، في مطحنة المطرقة، تتفاعل ثم تتصرف إلي حوض التفاعل. نظراً لأن كيميائ وسط التفاعل تتغير باستمرار مع إضافة مواد التفاعل، لذلك يلزم عمل إجراءات ضبط الرقم الهيدروجيني (pH).

المواد الصلبة المتفاعلة وأحجام صغيرة من السوائل المتفاعلة يتم عادة استقبالهم في شكل أوعية زجاجية، أو معدنية أو في شكل أكياس من البلاستيك. تلك يتم تغذيتها يدوياً

إلى الناقل شكل (٩/٣) والذي يؤدي إلى مطحنة المطرقة. المطارق الدوارة تفتح الإحتواء لتعريض المحتويات، والتي تبدأ في الحال في التفاعل مع المحلول المائي الدوار.



شكل (9/3) شكل معدة المعالجة

مواد التفاعل والإحتواء يظان في مطحنة المطرقة حتي وصول الحجم الطبيعي لها قد انخفض إلى أقل من ١٢ ملليمتر ($\frac{1}{2}$ بوصة). عند الوصول إلى ذلك، تمر المادة خلال المصبعة الحديدية (Grid) في مطحنة المطرقة إلى حوض التفاعل. عادة، التفاعل يذهب إلى الإكتمال في مطحنة المطرقة، ولكن، أي مادة لم تتفاعل والتي مرت إلى حوض التفاعل تستمر في التفاعل في الحوض. المواد الصلبة والموائد التي تنتج خلال العملية تظل في حوض التفاعل.

أي غازات منتجة في التفاعل يتم جمعها من مطحنة المطرقة، حوض التفاعل، وحجرة التفاعل، ويتم تمريرها خلال نظام غسيل مصمم لإزالة الجسيمات، حيث من المناسب، التفاعل مع المواد المنتجة (مثل الوسط القلوي للغسيل لإزالة الضباب الحامضي والغسيل الحامضي لإزالة الأمونيا).

عند تشبع وسط التفاعل في الحوض يتم ترشيح الجزء المائي وإرساله إلي معالجة مياه الصرف، للمجال الصلب المكون من اللزجاج والقطع المعدنية وقطع البلاستيك والأملاح المرسية والمواد غير المتفاعلة يتم نقله إلي الردم الأرضي.

وصف المعدة:

يتم وضع المعدة في غرفة خاصة مصممة لتداول الانفجارات. الجدران تكون من الخرسانة المسلحة بالصلب حتي الأرض ومربوطة مع بعضها لتكوين صندوق قوي ذو خمسة أجناب، الجانب السادس، المسقف، يتم تصميمه ليرتفع في حالة حدوث انفجار . لا يسمح للأفراد في هذه الغرفة عند معالجة المادة.

أثناء المعالجة تظل حجرة المعالجة عند ضغط سالب نسبة إلي باقي المكونات وذلك لخفض خطورة تعرض الأشخاص إلي الغازات المنتجة خلال المعالجة وضمان أن كل الغازات المولدة تمر خلال وحدة الغسيل (Scrubber) مثل خروجها من الوحدة. يتم سحب الهواء من الغرفة وحدة للغسيل شكل (٩ / ٣)، والذي يكون محملاً بمحلول للتدوير المناسب للمادة الجاري معالجتها.

يتم تحميل المخلفات النشطة يدوياً إلي ناقل ذو سرعة واحدة. للناقل يمر خلال فتحة صغيرة في أحد الحوائط لغرفة التفاعل. التآكل ينقل المادة إلي مطحنة المطرقة خلال مجرى منحدر (Chute) صغير، للمطارق والدوار من الصلب المسبوك وجسم المطحنة من الصلب. المطارق تدور بمعدل ١٨٠٠ لفة في الدقيقة وتدور بواسطة دوار كهربائي قدره ١٠٠ حصان.

حوض التفاعل الصندوقي له سعة ٥ متر مكعب (١٣٠٠ جالون) . الحوض مصنع من الصلب الكربوني بسمك جدار ٩,٥ ملليمتر وأرضية بسمك ١٣ ملليمتر. الحوائط تكون مغطاة من الداخل ومن الخارج بطلاء من الأيبوكسي لخفض التآكل والبري للمادة. أوعية تجميع الغاز ولجهزة الغسيل تصنع من الراتنجات المسلحة بالصوف الزجاجي للطلبات تكون مقاومة للإنفجار.

التبادل الأيوني

Ion Exchange



١. مقدمة:

التبادل الأيوني نادر ما يمثل البديل للتخلص من المخلفات لخطره، نظراً لأن العملية تولد مخلفات كيميائية والتي يلزم لها معالجة تالية. دوره هو خفض مقدار المشكلة بتحويل المخلفات الخطره إلي الشكل الذي يمكن به استعادة استخدامها ، تاركاً مادة أقل سمية في مكانها أو لتسهيل التخلص النهائي بخفض التدفق الهيدروليكي للتدفقات الحاملة للمادة السامة.

ولكن التبادل الأيوني أداة مؤثرة لمعالجة المخلفات المائية الخطرة. ولقد استخدم التبادل الأيوني لما يزيد عن ٥٠ عاماً للحصول علي مياه عالية النقاء للاستخدامات مثل مياه التعويض للغلاية، وهو طريقة مناسبة لإزالة السمية من تدفقات مياه الصرف الحاملة لمستويات منخفضة نسبياً من ملوثات المعادن الثقيلة مثل تلك المنتجة من صناعة الطلاء الكهربائي. المياه المنقاه يمكن عندئذ صرفها وأحياناً تدويرها. الملوثات تزال من السرايتج بالتشيط الكيميائي باستخدام الأحماض، أو القلويات، عادة في الشكل الذي يتم به إعادة استخدامها. كما استخدم التبادل الأيوني في تنقية المحاليل الكيميائية المركزة مثل تلك السوائل المستخدمة في معالجة سطح الصلب (Steel - Pickle). بعد المعالجة بالتبادل الأيوني، المركز المنقي يمكن تدويره للعملية.

٢. ملائمة الاستخدام للتنقية:

رغم أن التبادل الأيوني أصبح مقبولا كطريقة قياسية لتنقية المياه كما في حالة مياه التغذية للغلاية، مياه الاستخدام في المنتجات الدوائية، وصناعة شبه الموصلات، فإن استخدامه الهام هو في معالجة المخلفات الخطرة. التبادل الأيوني ليس كمثل عمليات الفصل الأخرى مثل التبخير والتناضح العكسي، التي تزيل المياه من المواد الملوثة، فإن التبادل الأيوني عادة يزيل الملوثات من الماء. نظراً لأن الملوثات يكون عادة موجوداً في تركيزات صغيرة، فإن التبادل الأيوني، يكون أحياناً أكثر كفاءة في معالجة تدفقات كبيرة من المخلفات الخطره المخففة عن الكثير من العمليات الأخرى. كذلك فإن له القدرة علي تنقية وتركيز الملوثات. بعض المبادلات تكون إنتقائية لمعادن معينة ويمكنها إزالة تركيزات منخفضة للمعدن السام من مياه الصرف ذات المستوى العالي من المعدن غير

السام مثل الصوديوم أو الكالسيوم. أكبر استخدام للتبادل الأيوني هو معالجة المخلفات غير العضوية.

٣. وصف التقنية:

راتنجات التبادل الأيوني يمكن وصفها ببساطة كمادة صلبة، أحماض غير مذابة أو قلويات غير مذابة يمكنها الدخول في التفاعلات الكيماوية كمثيلاتها من الأحماض المعدنية أو العضوية.

بناء بوليمرات الراتنج:

رغم استخدام العديد من البلمرات لراتنجية في تخليق الراتنج إلا أن الراتنجات العادية هي ذات الأساس من البولي إستيرين. (Polystyrene- Based). يستخدم داي فينيل بنزين (DMVinyl Benzene DVB) كعامل تشابك مع الإستيرين.

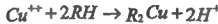
وظيفة الراتنج: Resin

إنها المجموعات الوظيفية التي تساهم في تفاعلات التبادل الأيوني، يوجد نوعين من راتنجات التبادل الأيوني الكاتيون والآن ليون، والتي تنقسم إلى تقسيمات فرعية:

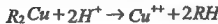
المبادلات الكاتيونية: Cation Exchangers

راتنجات كاتيون الحامض القوي ذات مجموعات حامض السلفونيك.

تلك تبادلات الكاتيونات خلال كل مجال الرقم الهيدروجيني (pH). مشابه لحامض الكبريتيك فإنها لا تحتجز الهيدروجين بإحكام ولذا يكون من الصعب إلي حد ما التنشيط والتجديد بالحامض، عادة يلزم عدة مرات الجرعة للنظرية أو المكافئة من الحامض لتحويلهم ثانياً شكل الهيدروجين بعد الاستفاد. فمثلاً، راتنجات التبادل بكاتيون الحامض القوي يمكنها إزالة المعادن السامة مثل النحاس من مياه الصرف بتبادل الهيدروجين مع النحاس طبقاً للتفاعل رقم (١).



التبادل الأيوني عملية عكسية، حيث يمكن إزالة النحاس من الراتنج بالتنشيط والتجديد باستخدام حامض معني مركز نسبياً (تركيز حوالي ١٠%) مثل حامض الكبريتيك أو حامض الهيدروكلوريك، طبقاً للتفاعل رقم (٢)، وذلك محلول أكثر تركيزاً للنحاس. في بعض الحالات يمكن تدوير المحلول المركز للمعدن المنتج بواسطة التنشيط.



لراتنجات لها انجذاب عالي لبعض الأيونات عن الأخرى . عموماً ، راتنجات الحامض القوي تفضل الكاتأيونات ذات الشحنتات الأيونية الأعلى في المحلول، (And Larger Hydrated Radii).

جدول (١٠/١) انجذاب راتنجات كاتايون الحامض القوي لمختلف الكاتأيونات:

- أحادي التكافؤ : $H < Na < NH_4 < K < Cu < Ag$
- ثنائي التكافؤ : $Zn < Cu < Cd < Ni < Ca < Hg < Pb < Fe < Mg < Mn$
- ثلاثي التكافؤ : $Al < Fe$

راتنجات الحامض الضعيف ذات مجموعة حامض الكربوكسيليك: وهي تشبه حامض الخليك (Acetic Acid) حيث تتحلل سريعاً بأيونات الهيدروجين. نتيجة لذلك، فإنها تتجدد بسهولة بكميات مكافئة تقريباً من الحامض، ولكنها لا تعمل عند رقم هيدروجيني أقل من ٤.

راتنجات التغليف (Chelating Resins):

تلك تشبه إلى حد كبير راتنجات الحامض الضعيف. راتنجات التغليف التقليدية تستخدم (Iminodiacetate Functionality). الظاهرة الأساسية لتلك الراتنجات هي أنها تبدي درجة عالية من الإنتقائية للكثير من المعادن السامة مثل النحاس، الزئبق، النيكل، والرصاص.

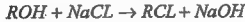
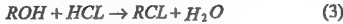
معاملات الإنتقائية لمختلف المعادن علي راتنجات إمينوداي أستيت موضحة في الجدول (١٠/٢). معاملات الإنتقائية هي مقياس كمي للتفضيل النسبي للراتنج لمختلف الأيونات. الأداء البطيء نسبياً لراتنجات التغليف يحتم استخدام معدلات تدفق منخفضة. كذلك فإن راتنجات التغليف أكثر تكلفة عن باقي الراتنجات. الملبية الرئيسية لراتنجات التغليف المستخدمة (Picoly Lamine) ثم تطوير أدائها. تلك الراتنجات شديدة الإنتقاء للنحاس وتعمل عند رقم هيدروجيني منخفض حتي واحد أو أقل. الراتنجات ذات شق وظيفي (Thiol) لها قوة انجذاب شديدة للزئبق ومعادن أخرى مثل الرصاص ، الفضة، النحاس ، الكاديوم.

جدول (١٠/٢) انتقائية راتنج التغليف (pH=4):

الأيون	معامل الانتقائية	الأيون	معامل الانتقائية
Hg^{++}	٢٨٨٠	Cd^{++}	١٥
Cu^{++}	٢٣٠٠	Co^{++}	٦,٧
Pb^{++}	١٢٠٠	Fe^{++}	٤,٠
Ni^{++}	٥٧	Mn^{++}	١,٢
Zn^{++}	١٥	Ca^{++}	١,٠

المبادلات الأيونية: (Anion Exchangers)

راتنجات الآن أيون شديد للقلوية لها مجموعات أمونيوم رباعية (Quaternary) والتي تشبه أيديروكسيد الصوديوم، لا تتحلل بسرعة بأيونات الأيدروكسيد. نتيجة لذلك، فإنها تعمل خلال كل مجال للرقم الهيدروجيني ولكن تتطلب زيادة من القلوي القوي (عادة أيديروكسيد الصوديوم) للتنشيط والتجديد، راتنجات للقلوي القوي قادرة على إزالة الأحماض طبقاً للتفاعل (٣) وكذلك إطلاق الأملاح كما في التفاعل رقم (٤).



بخلاف خواصها في التبادل الأيوني، فإن راتنجات أن أيون للقلوي القوي لها ميل قوي لامتصاص الأحماض القوية، لذلك، يتم عمل تفرقة بين التبادل الحقيقي للأن أيون مع الحامض كما في المعادلة (٣) وامتصاص الحامض طبقاً للظاهرة المعروفة (Acid Retardation) أى إعاقة الحامض. في عملية إعاقة الحامض يتم امتصاص الأحماض القوية من الكبريتيك، والكلورودريك، للنيتريك بواسطة الراتنج وذلك ببساطة بواسطة الماء. ولحسن الحظ فإن أملاح المعدن لا تمتص إلى نفس الحد مثل الأحماض لذلك فإنه يمكن فصل الأحماض من الأملاح. الصعوبة في استخدام هذه العملية هو في تقليل كمية المياه المستخدمة في إزالة الامتصاص (Desorbing) للحامض من الراتنج.

راتنجات الآن أيون ضعيف للقلوية : (Weak-Base Anion Resins)

ذات أداء مجموعات أمين (Amine) رباعية التي تسلك مثل أيديروكسيد الأمونيوم، حيث تتحلل سريعاً بالأيديروكسيد، بما ينتج عنه كفاءة تجديد وتنشيط عاليه. وسلبية راتنجات للقلوي الضعيف هو أنها تعمل فقط تحت الظروف الحامضية وليست قادرة على إطلاق الأملاح.

اعتبارات التصميم:

رغم أنه من الممكن إجراء تفاعلات التبادل الأيوني بطريقة الدفعات في أحواض مجهزة بقلاب، إلا أنه عموماً تكون الكفاءة أعلا لاستخدام الراتنج في أعمدة رأسية، حيث يتم فيها تثبيت الراتنج. عادة يتم تنشيط وتجديد الراتنج في مكانه إما يدوياً أو آلياً. تم تطوير نظم للتبادل الأيوني المستمرة، ولكن بسبب للتكلفة العالية والتعقيدات، فإن استخدامها تم فقط لاستخدام المعادن الأولية الضخمة (أى المناجم).

يوجد العديد من أنواع للتبادل الأيوني بالطبقة الثابتة بتصميمات أعمدة مختلفة لمعالجة المخلفات الخطره، بصفة عامة، يمكن تقسيم تلك إلى أربع أقسام: للتدفق الموازى،

التدفق المعاكس، الطبقة القصيرة والطبقة المختلطة. تصميمات طبقة التميؤ المتحركة متاحة ولكنها مكلفة جداً ومعقدة لاستخدامات معظم المخلفات للخطر.

أ. التدفق الموازي: (Co Current)

رغم أن التدفق الموازي بالطبقة الثابتة هو التصميم الأقل كفاءة إلا أنه الأقل تكلفة. الميزة الرئيسية هي البساطة في التشغيل. وكبر استخدام لهذه الطريقة هو إزالة للعسر عن المياه.

الخطوات التالية تستخدم في دورة التبادل الأيوني بالتدفق الموازي:

(١) الخدمة : (Service)

الأيونات الملوثة تزال عادة من الطبقة خلال خطوة الخدمة بمرور المحلول إلى أسفل خلال عمود الراتنج، والذي يكون مملوءاً للثني بالراتنج إلى ارتفاع من ٦٠ إلى ١٥٠ سم (٢٤ إلى ٦٠ بوصة). تستمر الخدمة حتى وصول تسرب الأيون المطلوب إزالته إلى مستوى غير مقبول. معدلات تدفق الخدمة تتراوح من ٨ إلى ٤٠ أحجام الطبقة في الساعة.

(٢) الغسيل العكسي: (Back Wash)

خلال تلك الخطوة ، يتم مرور المياه إلى أعلا خلال العمود بتدفق يكفي لتميؤ طبقة الراتنج بنسبة ٥٠ إلى ١٠٠. هذا يعمل على إعادة تقسيم الراتنج، وعدم حدوث قنوات (Channelling) وإزالة أي مواد صلبة عالقة التي يمكن أن يكون قد تم ترسيبها على طبقة الراتنج أثناء الخدمة.

(٣) التجديد أو التنشيط: (Regeneration)

يتم ذلك من خلال مرور محلول مخفف (١ إلى ٥ عياري) من الحامض (للكاتايون) أو القلوي (للأنيون) إلى أسفل خلال العمود.

(٤) الإزاحة والشفط: (Displacement and Rinse)

تتم إزالة مواد التنشيط الزائدة من العمود بالماء بمعدل تدفق بطيء. يلي ذلك ، يتم شطف الراتنج بالماء عند تدفق عالي لإزالة الآثار الأخيرة للكيمياويات من الراتنج.

ب- التدفق المعاكس: Counter Current

طريقة التدفق المعاكس تستخدم تدفق الخدمة في اتجاه معاكس للتنشيط. هذا يوفر امتصاص أعلا وكفاءات تنشيط أعلا وإنتاج مخلفات كيميائية أقل ومنتجات تم استعادتها

مركزه عند التنشيط. تلك الظواهر تجعله مناسباً لاستخدامات مياه الصرف. مميزات هذا النظام في أن المحلول المطلوب من الطبقة. والعكس يحدث عند التنشيط. الاعتبار الهام في تصميم نظم التدفق المعاكس هو طريقة منع التميؤ للراتنج خلال التدفق. ولكن تم تطوير العديد من التقنيات للتغلب على هذه المشكلة.

ج- الطبقة المختلطة : Mixed Bed

في نظام الطبقة المختلطة يتم وضع نوعين من الراتنجات في عامود واحد وتلك تكون عادة خليط من كاتايون حامض قوي وأن أيون قلوي قوي. عند مرور الماء خلال العامود، يحدث تقريباً إزالة كاملة للأيونات، ذلك لأن الأيونات في المحلول تكون معرضة بالتبادل للالتصاقات العديدة مع أماكن التبادل للكاتايوني والأن أيوني. الطبقات المختلطة مفيدة جداً لإنتاج تدفقات خارجة عالية للنقاء، رغم أن التنشيط ليس كفاءاً، بعد دورة الخدمة، يتم فصل الراتنج بالغسيل العكسي، نظراً لأن راتنجات التبادل الآن أيوني لها كثافة أقل من راتنجات التبادل للكاتايوني فإنه يحدث فصل هيدروليكي إلي طبقتين، بما يمكن التجديد التالي لكل راتنج علي حدة. للتغلب بالهواء يخلط الراتنجات، بالتبادل يمكن إزالة الراتنج من العامود وتنشيطه خارجياً.

التحكم:

يمكن التحكم في دورة التشغيل يدوياً وآلياً. التحكم الكهروكيميائي العادي باستخدام أجهزة التوقيت (Timers). التحكم في منسوب السائل، التحكم في التدفق ... إلخ.

مواد الإنشاء:

الإعتبار الهام في التصميم هو اختيار مادة الإنشاء بالنسبة للأوعية، الأنابيب، المحابس، نظم التحكم لمقاومة العدوانية للكيمياويات. ولحسن الحظ التبادل الأيوني يتم عند درجة حرارة الغرفة لذلك فإنه يمكن استخدام مواد البلاستيك مثل (PVC). أوعية الضغط عادة تكون من الصلب المبطن بالمطاط.

الإستخدامات:

« مخلفات الطلاء الكهربى:

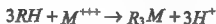
أحد الصناعات المزعجة بسبب مشاكل التخلص من المخلفات الخطره هي صناعة الطلاء الكهربى. يتم إنتاج كميات كبيرة من مياه للشطف المحملة بالمعادن الثقيلة وانسكابات محاليل الطلاء وذلك بطريقة روتينية. وقد كان ذلك أكبر مجال لاستخدام تقنيات التبادل الأيوني لمعالجة المخلفات الخطره.

إستعادة حامض الكروميك من مياه شطف الطلاء المعدني :

عند إزالة الأجزاء التي تم طلاؤها من حوض الطلاء بالكروم، فإن طبقة حامض الكروميك (إليكتروليت للطلاء) يجب أن يتم شطفها وغسلها.

إستعادة حامض الكروميك مثال جيد لاستخدام التبادل الأيوني لتتقية وتركيز المخلفات ، حيث يتم تحويلها إلي منتج ذو قيمة.

مياه الشطف تحتوي عدة مئات من المليجرام/لتر من حامض الكروميك، يتم ضخه خلال مبادل كاتايوني الحامضي القوي في شكل هيدروجين لإزالة الملوثات المعدنية (يرمز لها بالرمز M^{+++}) مثل الكروم والحديد ثلاثي التكافؤ. هذا ضروري لتجنب ترسيب الإيدروكسيدات المعدنية في الطبقة التالية للتبادل الأيوني. التبادل يحدث طبقاً للتفاعل رقم (٥).



مع الاستفاد يتم إعادة تجديد الراتنج الكاتايوني بحامض الكبريتيك، بعد ذلك يتم توجيه مياه الشطف محامض الكروميك التي تم إزالة كاتايوناتها خلال راتنج التبادل الآن أيوني في شكل الأيدروكسيد لإزالة الكروميت. للتدفق الخارج من التبادل الأنأيوني ستكون مياه خالية من الأيونات (Deionized) والتي يتم تحويلها إلي حوض الشطف النهائي. إمتصاص الكروميت يحدث طبقاً للمعادلة (٦).



مع الاستفاد يتم تجديد وتنشيط المبادل الأنأيوني بإيدروكسيد الصوديوم المخفف، منتجاً داي كروميت الصوديوم طبقاً للمعادلة (٧).



كرومات الصوديوم المنتجة في التنشيط الآن أيوني يتم مرورها خلال مبادل كاتايوني آخر في شكل الهيدروجين لإنتاج حامض الكروميك عند تركيز من ٤٠ إلى ٨٠ جرام/لتر طبقاً للمعادلة (٨). أى زيادة في إيدروكسيد الصوديوم موجودة تزال كذلك بواسطة الراتنج الكاتايوني طبقاً للمعادلة (٩). الراتنج الكاتايوني يجب تنشيطه بعد ذلك بواسطة حامض الكبريتيك.



وحدة (Recoflo) لاستعادة حامض الكروميك التي تعمل عند معدل تدفق ٢,٧٣ متر مكعب/الساعة (١٢ جالون/دقيقة) قد أمكنها استعادة ٩٩% من الكروم السداسي للتكافؤ من عملية الطلاء الكهربائي.

استعادة المعادن من خليط مياه الشطف:

نظريًا، من الممكن جمع مجموعة من مياه الشطف، وإزالة الأيونات منها ثم تنويرها. وجود أيونات السيانيد في مياه الصرف المطلوب معالجتها يلزم مراعاتها حيث أن السيانيد يمكن أن يوجد في شكل السيانيد الحر (HCN, CN) أو مرتبط في شكل مركبات معقدة من المعدن والسيانيد مثل $(Cu(CN)_4^{2-})$. المعادن يمكن أن تكون موجودة في شكل كاتايونات معدنية حرة أو في شكل أن أيونات معقدة.

لذلك فإن المعادن يمكن مبادلتها إما براتنجات للتبادل الكاتيوني أو الآن أيوني. نظراً للانتقائية العالية لمعظم الراتنجات الآن أيونية لبعض مركبات السيانيد المعقدة (مثل النحاس)، فإنه يلزم أحياناً طرق تنشيط خاصة باستخدام كلا من الحامض والقلوي، ولكن يجب الحرص نحو تجنب إنتاج غاز السيانيد السام.

يوجد عدد من الأخطار عند استعادة خليط مياه الصرف: كثيراً من سوائيل اليكتروليت المنظفات والطلاء الكهربائي المعدني تكون محملة بالمواد العضوية مثل مساعدات التغليف (Chelating Agents) ومواد النشاط السطحي، حيث بعض منها قد يرسب ويتراكم على راتنج التبادل الأيوني أو لا يزال بواسطة الراتنج. هذا يمكن أن ينتج عنه تراكمات للملوثات في مياه العمليات والتي يصعب اكتشافها بسهولة والتي يكون لها تأثير ضار على العملية.

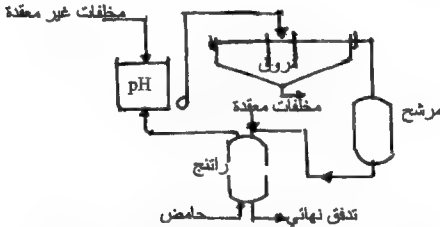
من المهم فحص كل مصدر لمياه الصرف بدقة، وذلك لمعرفة ماهي مياه الصرف القابلة للتدوير. كذلك من المهم معرفة أن التبادل الأيوني هو عملية كيميائية تضاعف من كمية الأملاح المذابة في مياه الصرف النهائي.

تلميع التدفقات الخارجة: Effluent Polishing

عادة أفضل طريقة لاستخدام التبادل الأيوني لخفض الحمل على نظم معالجة مياه الصرف هي باستخدام الراتنجات التي سوف تزيل انتقائياً التركيزات المنخفضة للمعادن السامة من التدفقات العالية الخارجة، رغم أن راتنجات الحامض القوي تفضل للنحاس ثنائي التكافؤ (Cu^{++}) عن الصوديوم أحادي التكافؤ (Na^+) ، فإنه عموماً ليس مجدياً باستعادة مليجرامات قليلة من Cu^{++} في اللتر من مياه الصرف المحتوية على آلاف المليجرامات في اللتر من (Na^+) ، لأن الراتنج ليس انتقائياً بما يكفي للنحاس، ولكن راتنجات التغليف (Chelating Resins) بسبب انتقائيتها العالي للمعادن مثل النحاس، النيكل، الرصاص والزنك

فقد ثبت أنها مؤثرة جداً لهذا النوع من الاستخدام . كمثال عند استخدام راتنج (Iminodacetate) يمكن للحصول على مستويات من التنفقات الخارجية الخالية من النحاس مستوي يقل عن ٠.٠١ ملجرام / لتر في حالة تنفقات الغذاء ذات محتوى من النحاس ١٠٠ ملجرام/لتر من النحاس وعدة آلاف ملجرام/لتر من الصوديوم والكالسيوم. نفس للراتنجات يمكن استخدامها لتقوية نظام الترسيب التقليدي بتلميع الخارج من المروق للحصول علي تركيز منخفض جداً من الملوث.

الكيمائيات من مساعدات التعقيد (Complexing Agents) مثل (EDTA)، (Citrates) الأمونيا تستخدم كثيراً في محاليل تشطيب المعادن تلك الكيمائيات تتداخل مع إزالة المعدن بعملية الترسيب التقليدية بالأيديروكسيد. راتنجات التغليف يمكن استخدامها أحياناً لكسر الرابط لتلك العوامل مع المعدن الملوث وإزالة المعدن. تنشيط الراتنج بالحامض ينتج تركيز المعدن الخالي من العوامل الضارة يمكن معالجته بالترسيب التقليدي بالأيديروكسيد أو استعادته كمعدن بالتحليل الكهربائي (Electrolysis) الشكل (١٠/١) يوضح وحدة التبادل الأيوني الانتقائي التي يمكن أن تستخدم في معالجة مياه الصرف للمعدة وتلميع السبب النهائي.



شكل (10/1) تلميع التنفقات الخارجة براتنج خلالي (تغليف)

تصريف برج التبريد: Cooling Tower Blow Down

التصريف المستمر أو المتقطع من برج التبريد الصناعي يكون ضرورياً لمنع زيادة التراكومات من الأملاح خلال دورة التبريد. في دورات التبريد عالية درجة الحرارة المستخدمة مثبطات للتآكل من الكرومات (Chromate) فإن ذلك التصريف يشكل مصدر رئيسي للملوثات من المعدن السام.

رغم وفرة المثبطات عدا الكرومات إلا أنها أكثر تكلفة وأقل تأثيراً عن نظم الكرومات. إزالة الكرومات بتبادل الكبريتات، الكلوريدات الإيدروكسيد، باستخدام راتنجات أن أيونية لكل من القلوي القوي والضعيف تم استخدامه، بالإضافة إلى إزالة الكرومات من المخلوط، فإنه من الممكن تدوير إما كرومات الصوديوم أو الأمونيوم وذلك بالشطف والتنقية بإيدروكسيد للصوديوم أو الأمونيوم. الخبرة الصناعية المتاحة حالياً لاستخدام راتنجات التبادل الأيوني لاستعادة الكرومات من تصريف برج للتبريد.

المخلفات المشعة: Radio Active Wastes

التبادل الآن أيوني باستخدام مبادلات القلوي القوي في شكل كلوريد، يزيل اليورانيوم بكفاءة من المياه الجوفية. تنشيط الراتنج يتم بواسطة كلوريد الصوديوم. التبادل الكاتيوني له انجذاب عالي للراديويم لذلك فإن مزيلات العسر المنزلية لدورة الصوديوم باستخدام راتنجات الحامض القوي تزيل كلا من الراديويم والعسر. نظائر الميزيوم والامترنشيوم: نظراً لثباتها فإن المبادلات الأيون غير العضوية (مثل الزيوليت) تفيد في فصل وتنقية النظائر المشعة مثل الميزيوم والامترنشيوم تلك النظائر يمكن حجزها على الزيوليت وتخزينها.

الفصل الرابع عشر

الاستخلاص بالمذيب

Solvent Extraction

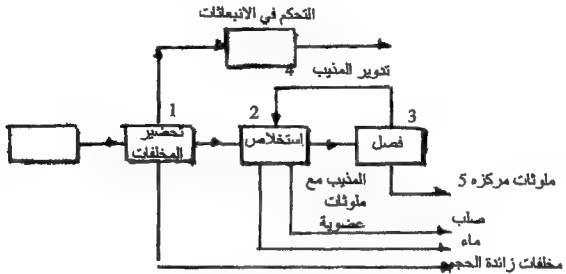


١. مقدمة:

الاستخلاص بالمذيب هو عملية فصل غير غذائي وتركيز حيث يستخدم عامل مساعد غير مائي لإزالة الملوثات العضوية و/أو غير العضوية من المخلفات، التربة، الرواسب، أو الحماة. الاستخلاص بالمذيب لا يتلف المخلفات ولكنه وسيلة لفصل الملوثات الخطره التي يجب معالجتها. عموماً فإنه يستخدم كوحدة من العمليات المنفردة ضمن سلسلة من عمليات طبيعية متكاملة مثل الترشيح والتقطير والاستخلاص (Unit Operations) ويمكنها خفض التكلفة الكلية لإدارة مكان معين. وهو قابل للتطبيق مع المخلفات العضوية، ولا يستخدم في معالجة المواد غير العضوية والمعادن. يمكن أن يختلف عن غسيل التربة في أن غسيل للتربة يتضمن استخدام محاليل مائية مخففة من المنظفات الصناعية و/أو عوامل للتغليب (Chelating Agents) لإزالة الملوثات خلال التخلص من الانمصاص (Desorbition)، الاحتكاك و/أو الفصل الطبيعي، الاستخلاص بالمذيب يعتمد علي أداء العوامل المساعدة من الكيماويات المركزة.

الاستخلاص بالمذيب يمكن أن يحدث خلال ثلاث عمليات: العملية العادية تستخدم مجالين ملتصقين عند درجة الحرارة والضغط العادية، حيث يحدث تبادل للملوثات بين البناء الصلب والمذيب السائل. العملية للثانية تستخدم غازات مسالة مثل البروبين كمذيب. أخيراً نظم الاستخلاص بالمذيب الذي يتأثر بدرجة الحرارة حيث يستخدم مذيب مثل (Aliphatic Amines) حيث يمكن أن تتغير الإذابة مجال درجة الحرارة لاستخدام الطريقة. تلك الطرق تستخدم استخلاص سائل-سائل عند درجتين حرارة مختلفتين، عند درجات الحرارة المنخفضة، تكون المذيبات مذابة بينما عند درجات الحرارة الأعلى، يكون كلا المذيبين غير قابلين للإذابة تماماً.

عمليات الاستخلاص بالمذيب تعمل بطريقة مستمرة أو بطريقة الدفعات، وذلك بنفس العملية في الحالتين. الشكل (١١/١) مخطط مبسط للعملية .



شكل (11/1) عملية الاستخلاص بالمذيب مخطط مبسط

الاستخلاص بالمذيب يتكون من العمليات الآتية:

- تحضير الغذاء (المخلفات) (خفض الحجم، المنخل، ضبط الرقم الهيدروجيني) .
- الاستخلاص بالمذيب (بطريقة مستمرة أو بطريقة الدفعات).
- فصل المجال (ترشيح، طرد مركزي، صرف).
- استعادة المذيب والتجوير (التبخير /التكثيف، التقطير، امصاص).
- إحكام انبعائات (اقتناص للتفيس/المعالجة).

تحضير المخلفات يتضمن الحفر و/أو تحريك مادة المخلفات إلي العملية حيث يتم تمريرها خلال المنخل لإزالة الأعشاب والأشياء الضخمة، طبقاً لمتطلبات العملية وما إذا كانت العملية مستمرة أو علي دفعات فإن المخلفات قد تتطلب الحاجة لتكون قابلة للضغط بإضافة المذيب أو الماء لإنتاج الردغة.

يتم عندئذ نقل شحنة التغذية التي تم إعدادها إلي أوعية الاستخلاص، حيث يتم خلطها مع مذيب الاستخلاص، الاستخلاص يمكن أن يتم في واحد أو أكثر من أوعية الاستخلاص. اختيار مذيب الاستخلاص ، نسبة للمذيب إلي المادة للصلبة، زمن الاستخلاص وعدد دورات الاستخلاص يتوقف علي الملوثات المعينة وطبيعة شحنة الغذاء (Feed). كفاءة الاستخلاص التي تتم بهذه التقنية هي عمليات انتقال مادة محكمة، رغم أن اعتبارات الإتران، تصبح عوامل تحكم. تعيين عامل التحكم (Controlling Factor) يعتبر

هاماً وحرراً لوحدة عملية الاستخلاص بالمذيب، من المهم إجراء اختبار معلمي علي القابلية للمعالجة.

يمكن إدخال شحنة الغذاء والمذيب نظام الالتصاق المستمر بالتدفق الموازي أو بالتدفق المعاكس. الملوثات المستخلصة (محلول الاستخلاص) يتم إزالتها من المكون الصلب بالصرف من وعاء الاستخلاص (الصرف بالجاذبية) أو التحويل نحو وحدة فصل المواد الصلبة عن السائل مثل الترشيح أو الطرد المركزي. تتم معالجة محلول الاستخلاص لإزالة واستعادة المذيب من الملوثات العضوية. تلك العملية يمكن أن تكون بتغير الضغط (Pressure-Change) (تبخير المذيب/التكثيف) ، تغير درجة الحرارة (Temp Change) (تحريك القابلية للإذابة) ، الامصاص (تبادل الوسط) ، يتم تدوير المذيب إلي وعاء الاستخلاص لدورات الاستخلاص التالية، والملوثات التي تم استخلاصها يتم جمعها للتخلص النهائي أو لاستعادتها.

للتحكم في الانبعاثات يتكون من الجمع من فتحة التنفيث والمعالجة. معالجة للتنفيث هو عادة إدمصاص الوسط، للتكثيف، للتدوير، أو الأكسدة. نظم استخلاص المذيب تصميم بدون انبعاثات الهواء.

يوجد ثلاث منتجات رئيسية بهذه التقنية: ملوثات عضوية مركزة (جزء للزيت)، مواد صلبة معالجة (تربة نظيفة) ماء تم فصله، المواد العضوية المركزة قد تحتاج إلي تحليل لتعيين إذابتها للتدوير وإعادة الاستخدام، أو المعالجة للتالية قبل التخلص. المواد الصلبة المعالجة قد يلزم إزالة المياه من المادة الصلبة للجافة وفصل تنفق المياه.

٢. معالجة المخلفات القابلية للاستخدام والحدود:

لقد أثبتت نظم الاستخلاص بالمذيب أنها مؤثرة في معالجة الرواسب والحماة والتربة المحتوية علي ملوثات عضوية مثل المركبات العضوية الكلورية (polynuclear Aromatics), (PCBS-Poly Chlorinated Biphenyl), (Pesticides), (Halogenated Solvents), (Volatile Organic Compounds).

ومخلفات مشتقات تكرير البترول. الاستخلاص بالمذيب عموماً لا يتم استخدامه في معالجة المواد غير للعضوية (الأحماض، القلويات، الأملاح، للمعادن الثقيلة).

عمليات الاستخلاص بالمذيب لا يتم تصميمها لمعالجة مركبات معينة، كفاءة الاستخلاص ومعدلات للمعالجة تكون أقل عندما يكون هناك تركيزات عالية من المركبات العضوية المحبة (لحامض الهيوميك وللتانيك في التربة). بالمثل فإن كفاءة الاستخلاص

ومعدلات المعالجة تكون منخفضة عندما تكون شحنة الغذاء (المعالجة) محتوية علي مواد استحلاب (Emulsifiers) ، منظفات صناعية مذابة في الماء.

عموماً، عمليات الاستخلاص بالمذيب تتطلب مستوي معين من إعداد الشحنة قبل عملية الاستخلاص. يلزم خفض الحجم أو الغريلة (Screening) لخفض الماء إلي أقصى حجم ما بين ٠,٢٥ إلي ٣ بوصة. معظم عمليات الاستخلاص بالمذيب تكون محدودة لمجال مخطط جيداً من محتوى المواد الصلبة. هذا قد يمثلزم إزالة المياه بالتجفيف لشحنة التغذية في بعض العمليات ومرحلة الردغة في عمليات أخرى.

عمليات الاستخلاص بالمذيب يمكنها إزالة كل المواد العضوية المحلية وقتل بكتريا الميكروبات المفيدة في مادة التغذية، في حالة الاستخدام المستقبلي المادة الصلبة المتبقية. مثل سطح للتربة، فإنه يلزم إصلاح للتربة.

جزء الملوثات المركزه قد يحتاج أحياناً معالجة إضافية لتأكيد تدمير المركبات العضوية السامة أو لتحضير هذا الجزء للتدوير. في حالة المعادن الملتصقة عضوياً (مثل Carbonyl Nickel, Tetra-Ethyl-Lead) يمكن استخلاصها مع المركبات العضوية المستهدفة إلي محلول الاستخلاص ثم التفتقات العضوية المركزه، فإن بدائل إعادة الاستخدام والتدوير ستكون محدودة.

كل عمليات الاستخلاص بالمذيب تستخدم مذيبات عضوية قابلة للاشتعال، بما يشكل أخطار الحريق والانفجار. قابلية الاشتعال لتلك المذيبات تختلف كثيراً. نظم عملية تسييل البروبين تمثل أكبر احتمال للانفجار. العديد من مذيبات الاستخلاص من المركبات المتطايرة أو شبة المتطايرة يمكنها إنتاج مخاليط متفجرة.

العمليات المتاحة تجارياً:

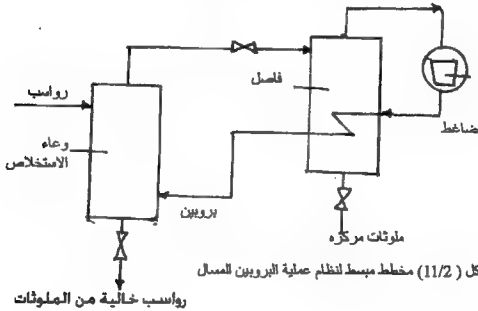
- عملية الاستخلاص بالبروبين المسال.
- عملية الاستخلاص بالأمين (Amine).
- عمليات الاستخلاص بالمذيب.

عملية الاستخلاص بالبروبين المسال:

الشكل (٢ / ١١) مخطط مبسط لعملية الاستخلاص بالمذيب بالمرحلة الواحدة باستخدام البروبين المسال. العملية لها سبعة خطوات تشغيل أساسية.

أولاً، يتم تغذية ردغة الحمأة إلى حوض الاستخلاص المزود بخلاط. يتم ضغط البروبين إلى مستوى ضغط التشغيل، وتغذيته إلى وعاء الاستخلاص لإذابة الزيت في شحنة الغذاء من الحمأة، المحلول المستخلص يتم أخذه من وعاء الاستخلاص إلى المصفق (Decanter)، والذي يتم فيه الفصل بالجاذبية للماء الأثقل والمواد الصلبة من البروبين الخفيف والزيت. تتم استعادة الماء والمادة الصلبة وسحب المياه من المواد الصلبة والقشور النهائية من الترشيح تتم إزالتها للتخلص النهائي أو للتدوير.

لبروبين زائد الزيت يمر إلى مقطر استعادة المذيب. برج التقطير يعمل عند ضغط منخفض. وحدة إعادة الغليان (Reboiler) يتم تسخينها بواسطة بخار البروبين المعاد ضغطه، الزيت المتجمع عند قاع المقطر يتم تدويره أو التخلص النهائي منه. للمذيب يتم تدويره لإعادة الاستخدام في العملية لدورات الاستخلاص التالية



متطلبات المعالجة المسبقة والتالية:

المعالجة المسبقة للمخلفات في عملية البروبين المسال تكون طبقاً للموقع والمواد التي يتم تدولها. عادة مادة الغذاء يجب مرورها خلال المنخل إلى حجم حبيبات بقطر أقل من ٠,٢٥ بوصة. الرقم الهيدروجيني للغذاء يجب أن يتم ضبطه إلى ما بين ٦,١٠ درجة حرارة شحنة الغذاء يجب أن تكون ما بين ٦٠ ، ١٢٠ درجة فهرنهايت. قوام شحنة الغذاء يجب أن يكون متجانساً نسبياً لتوفير التحكم المناسب في معدل التدفق. اعتبارات المعالجة المسبقة الهامة هي إزالة المواد الصلبة، إزالة المياه، الخلط وطاقة التخزين.

المعالجة اللاحقة يجب مراعاتها لكلا التدفقات المنتجة من نظم عملية الاستخلاص بالروبين الممسال. محلول الاستخلاص يحتوي ملوثات مركزه والمواد الصلبة المعالجة المحتوية علي الماء. المواد الصلبة يجب سحب للمياه منها، والماء يجب أن يعود لتحضير تدفق الغذاء لخفض متطلبات المعالجة لمياه الصرف.

تكنولوجيا الفصل الغشائي

Membrane Separation Technologies



١. مقدمة:

عمليات الفصل الغشائي يقصد بها القيام بدور إضافي في مجال خفض و/أو تنوير المخلفات الخطره. تلك العمليات تشمل الآتي:

- التناضح العكسي (Reverse Osmosis)
- الترشيح عالي الدقة (Ultra Filtration)
- الترشيح فائق الدقة (Hyper Filtration)
- الديليزة الكهربائية أو الفرز الكهربائي (Electrodialysis)

كل من تلك يفصل ملوث (مذاب) من المجال السائل (المذيب، التقليدي هو الماء). بالإضافة إلي تقنيات الفصل الغشائي الجديدة مثل:

• التبخر خارج الغشاء: (Pervaporation)

عمليات فصل الغشاء يمكن أن تؤدي العديد من المهام، خفض الحجم، استعادة و/أو تنقية المجال السائل، تركيز و/أو استعادة الملوث من المادة المذابة (Solute). عند اختيار تقنية الفصل الغشائي فإنه يجب أن يراعي الخواص الأساسية الآتية:

١. التناضح العكسي: (RO)(Reverse Osmosis)

يستخدم أساساً لفصل المياه من التلوثات المحتوية علي أيونات غير عضوية. نقاء الماء الذي تم استعادته يكون عالياً نسبياً، والماء يكون عموماً مناسباً للتدوير، أقصى تركيز للأملاح يمكن الحصول عليه في تدفقات الصرف هو عادة ١٠٠,٠٠٠ ملجرام/لتر لاعتبارات الضغط الأسموزي.

٢. الترشيح فائق الدقة: (Hyper Filtration)

يفصل المكونات الأيونية أو العضوية من الماء بتحديد حجم مسام الغشاء التي خلالها يمكن أن يمر الملوث. وهو يستخدم عادة لإزالة للملوثات ذات للوزن الجزيئي من ١٠٠ إلى ٥٠٠ من الماء.

٣. الترشيح عالي الدقة: (Ultra Filtration)

يستخدم أساساً لفصل المكونات العضوية من الماء طبقاً لحجم (الوزن الجزيئي). الجزيئات العضوية، تصنع الأغشية بإمكانيات إزالة الملوثات ذات الوزن الجزيئي من ١٠٠,٠٠٠، ٥٠٠.

٤. الديليزة الكهربائية أو الفرز الكهربائي (Electrodialysis)

يستخدم لإزالة المكونات الأيونية من الماء. وهو ينتج ماء منتج بنوعية متوسطة (أي عدة مئات من الملجم في اللتر من الأملاح) وهو قادر على إنتاج تنفقات مركزه محتوية على حتى ٢٠% ملح.

٥. التبخر خارج الغشاء: (Pervaporation)

التبخر خارج الغشاء يزيل المركبات العضوية المتطايرة من المياه الملوثة. طبقاً لتكثيف الملوث، معاملات تركيز من ٥ حتى ٢٠٠ ضعف يمكن الحصول عليها.

التناضح العكسي:

عند فصل محلولين بواسطة غشاء شبه نفاذ وكونها بتركيزات مختلفة للمواد الصلبة المذابة، فإن الماء النقي سوف يتدفق خلال الغشاء في المحلول المركز، بينما الأيونات (أي الأملاح المذابة) يتم احتجازها خلف الغشاء. هذه العملية تعرف بالتناضح أو الأسموزية (Osmosis). أثناء التناضح العكسي، يتم تسليط الضغط إلى المحلول الأكثر تركيزاً لعكس التدفق الأسموزي الطبيعي، والماء النقي يتم دفعه خلال الغشاء شبه نفاذ إلى المحلول الأقل تركيزاً. للتدفق المنقي الذي يمر خلال الغشاء يسمى النافذ (Permeate) والتدفق المركز المحتجز بواسطة الغشاء يسمى المركز (Concentrate).

لذلك، فإن نظام التناضح العكسي له مميزات عديدة في معالجة المخلفات .

- كلا من المذيب الذي تم استعادته والمذاب المركز في بعض الحالات يمكن استعادته إلى عملية التصنيع، بخلاف متطلبات المعالجة والتخلص.
- عملية الفصل لا تتطلب طاقة لتغيير المجال مثل تلك المطلوبة للتقطير أو للتبخير. لذلك، فإن للتكاليف الخاصة باستهلاك الطاقة تكون منخفضة.
- التكاليف الرأسمالية تكون منخفضة نسبياً. لذلك فإن هذه التقنية تنافس التقنيات المكلفة الأخرى لانخفاض سعر الغشاء.
- معدلات التناضح العكسي لا تحتاج إلى مساحة كبيرة ومهارات تشغيل متوسطة.

خواص الغشاء:

استخدامات التناضح العكسي، فإن الأغشية المثالية هي التي لها نفاذية عالية للمياه ونفاذية ضعيفة للملح. لتوافر أغشية التناضح العكسي المستخدمة عادة هي:

- سيلليوز أسيتيت. Cellulose Acetate
- البولي أميد الاروماتية Aromatic Polyamides
- الطبقة الرقيقة المركبة Thin Film Composites.

(وهي تتكون من طبقة رقيقة لغشاء مانع للملح على سطح بوليمر مسامي حامل).
درجة الحرارة ، الرقم الهيدروجيني ، حدود تلك المواد موجز في الجدول (١١/١).

جدول (١١/١) حدود أغشية التناضح الطبيعية والكيميائية

مادة الغشاء	حدود الرقم الهيدروجيني	أقصى حدود لدرجة الحرارة °م	حدود أخرى
سيلليوز أسيتيت	٧-٢,٥	٢٩-٥٠°م	قابل للتحلل البيولوجي
أوماتيك بولي أميد	١١-٤	٣٥-٤٦°م	لا يتحمل الكلور
الطبقة الرقيقة المركبة	١٣-١ >	٧٩-٤٦°م	يمكنه تحمل مستويات الكلور المتوسطة حتي ١٠٠ جزء في المليون

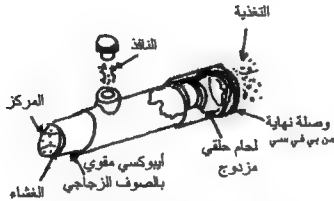
تصميم الوحدة أو النسق: Module Design

بعد اختبار مادة الغشاء، فإنه يتم تصنيعه إلي واحد من تصميمات وحدات التناضح العكسي الآتية: الأنبوبية (Tubular)، لثلف الحلزوني (Spiral Wound)، الشعيرة الجوفاء (Hollow Fiber)، أو للوح والإطار (Plate And Frame).

الوحدات الأنبوبية: (Tubular Modules)

نموذج للوحدة الأنبوبية موضح في الشكل (١٢ / ١) ، والذي يتكون من أنبوب مبطن بغشاء مسامي والذي له قطر داخلي من ٠,٦٣ إلي ٣,٨ سم (من ٠,٢٥ إلي ١,٥ بوصة). محلول للتغذية يتم ضخه خلال الغشاء وخارج الأنبوب المتقب. للمركز يخرج من الطرف للمعاكس للأنبوب.

رغم أن الوحدات الأنبوبية لها مساحة سطحية صغيرة نسبياً ولكنها أقل عرضه للتسداد بالمواد الصلبة للعالقة، في كثير من الحالات يكون من الممكن تنظيف داخل الأنابيب لإزالة أى رواسب سطحية.



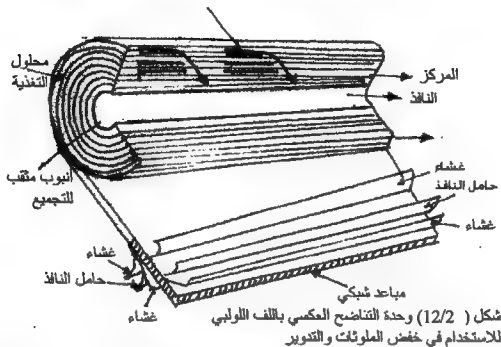
شكل (12/1) وحدة التناضح العكسي الأنبوبية

الوحدات ذات اللف الحلزوني : Spiral Wound Module

تتكون الوحدات ذات اللف الحلزوني من طبقات بينية (Sandwiches) من الغشاء ومواد من رقائق المبادعة (Spacer) الملفوفة مثل الدرج اللولبي (Scroll) حول أنبوب مثقب شكل (١٢ / ٢). لوحين من الغشاء يكونوا معزولين بواسطة المادة الحاملة للنافذ (النموذجي هي Tricot). الأغشية تكون ملتصقة معا عند الأطراف للحام الحامل للمادة النافذة (Per Meate)، وحامل للنافذ بالتالي يلتصق بأنبوب التجميع المثقب. عند لف الغشاء حول الأنبوب، فإنه يتم فصل ورقتين من تجهيز الغشاء بمباعد شبكي (Mesh Spacer) الذى يخدم كممر لتدفق التغذية. غشاء لللف الحلزوني يتم عندئذ إيلاجه في غلاف ضغط (Pressure shell). يتم إدخال تدفقات شحنة التغذية عند أحد النهايات من غلاف الضغط ويتدفق محورى خلال المباعد الشبكي (Mesh Spacer) نحو الطرف الآخر للغلاف. يزال النافذ من أنبوب لتجميع المثقب.

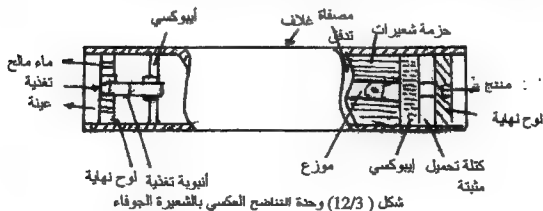
وحدات الشعيرة الجوفاء: (Hollow-Fiber Module)

وحدات الشعيرات الجوفاء متاحة في مختلف أشكال الشعيرات وحدة (Du Pont Perasep) موضحة في الشكل (١٢ / ٣). الحزمة من الشعيرات المحتوية علي حتى ٤,٥ مليون من الشعيرات، تتكون من شعيرة مزدوجة من الشعيرات. كلا نهايتي شعيرة الشعيرة يحفظا في الإيبوكسي والذى بالتالي يقص إلي النهايات المفتوحة للشعيرات. كل وحدة شعيرة يتم عندئذ وضعها في وعاء ضغط بطول حتى ١,٥ متر (٤ قدم) وقطر من ١٠ إلي ٢٥ سم (٤ إلي ١٠ بوصة).



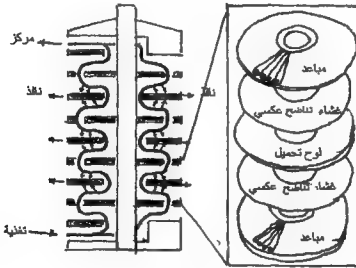
شحنة الغذاء يتم إدخالها إلى الوحدة خلال أنبوب للتوزيع المركزى الذى بطول الوحدة، عندئذ تتدفق محيطياً إلى الخارج خلال وحدة الشعيرة عند مرور شحنة التغذية فوق السطح الخارجى للشعيرات، فإن النافذ يتدفق خلال حوائط الشعيرة إلى النقب الداخلى. كل شعيرة تصرف سائلها المنقى عند نهاية الوحدة، المركز يزال عند الطرف المعاكس.

نظام آخر لوحدات للشعيرة الجوفاء وذلك بلف للشعيرات الجوفاء في أشكال حلزونية. التغذية تتدفق عبر تلك الحزم في شكل محورى وليس في اتجاه محيطي.



وحدات اللوح والإطار: (Plate And Frame Modules)

الشكل (١٢/٤) مخطط للتناضح العكسي باللوح والإطار، في هذه الوحدة، يتم تركيب المبادعات الدائرية (Circular Spacers)، الأغشية، ولأواح التحميل مثل الطبقات البينية (Sandwich) ويتم تعليقها معاً بواسطة مسمار مركزي. يتم إدخال التغذية عند القاع للمجموع (Stack) عند ضغط يتراوح من ١,٥ مليون إلى ٧ مليون بار (٢٢٠ إلى ١٠١٥ رطل /البوصة المربعة). للمبادعات تحول التدفق محيطياً خلال وجه غشاء يمكن ضبطه. نتيجة لهذا الالتصاق فإن الماء ينفذ خلال الغشاء إلى اللوح الحامل المسامي ويتم تجميعه عند نهايته الخارجية، الأملاح تكون مركزه مع مرور التغذية تتابعياً خلال المجموعة (Stack) ويتم صرفها من قمة الوحدة.



شكل (12/4) وحدة التناضح العكسي باللوح والإطار

اعتبارات التصميم:

إن أداء نظام التناضح العكسي هو بدلالة نوع الغشاء، تركيز الأملاح المذابة ودرجة حرارة محلول التغذية والضغط المستخدم. نظراً لاختلاف مكونات كل نوع من تدفقات المخلفات، فإنه يكون من الضروري عمل اختبارات ريادية والتي تتم على عينة ممثلة من مياه الصرف بمقدار ٥٠ جالون. خلال الاختبار الريادي فإنه يتم قياس أداء التناضح العكسي بواسطة ثلاث معايير وهي: التدفق (Flux)، التحويل (Conversion)، الطرد (Rejection).

التدفق: (Flux)

التدفق يعني به معدل التدفق للنافذ على وحدة المساحة للغشاء. للوحدات النموذجية المستخدمة هي المتر المكعب/المتر المربع في اليوم أو الجالون / القدم المربع في اليوم

(بالنسبة لوحدات الشعيرة الجوفاء ، فإن التدفق يتم استبداله بالإنتاجية (Productivity) والتي هي معدل التدفق لكل وحدة (Module)). العوامل الرئيسية ذات التأثير علي التدفق هي الثبات الكيماوي والطبيعي للغشاء، للترسيب (Fouling)، تركيز الاستقطاب (Concentration Polarization).

التحويل: (Conversion)

التحويل (أو الاستعادة) هو بالنسبة ما بين تدفق النافذ وتدفق شحنة التغذية، ويتم إحكامها بضبط معدل التدفق لتدفق المنصرف (Reject) للذي يترك الوحدة. عند عمل الوحدة عند تحويل منخفض، فإن تركيز تدفق المنصرف الذي يترك الوحدة لا يختلف كثيراً عن تركيز تدفق للتغذية. مع زيادة التحويل، فإن تركيز المركز سيزداد كذلك، ولكن زيادة ضغط التغذية يكون مطلوباً لمقاومة الضغوط الأسموزية.

الصرف المطروح: Rejection

الصرف العادم يقيس للدرجة التي يتم بها منع المذاب من المرور خلال الغشاء، ويزداد مع حجم الأيونات والشحنة الأيونية للمواد في التغذية، وهو يتوقف علي ضغط التشغيل، التحويل، وتركيز التغذية.

الترسيب للملوثات واستقطاب التركيز:

Fouling and Concentration Polarization:

لسوء الحظ فإنه لا يمكن تعيين مدى الترسيب للملوثات خلال الاختبارات الريادية (العامل الذي يؤثر علي أداء نظام التناضح العكسي). ولكن يجب تقديره خلال تقييم للتدفقات. ترسيب الملوثات هو بسبب المواد العالقة في تدفق التغذية أو المواد التي ترسب أثناء المعالجة ويمكن تثبيطه بالآتي:

١. إقامة نظام المعالجة المسبقة للتغذية (الترويب، والترشيح) أو الترشيح المسبق بالمرشحات ذات فتحات ٥ ميكرومتر لإزالة المواد الصلبة العالقة.
٢. الترشيح المسبق للتغذية بالكربون المنشط لإبعاد للملوثات العضوية.
٣. إضافة عوامل تشتت.
٤. ضبط الرقم الهيدروجيني للتغذية.
٥. كلورة التغذية (يليه إزالة الكلور نظم الأغشية من البولي أميد الأروماتية). لمنع تراكم الملوثات البيولوجية العضوية في وحدات التناضح العكسي.
٦. المحافظة علي استمرار التدفق المضطرب (والذي يعزز باستخدام مبادعات غشاء خاصة، زيادة معدل التدفق للتغذية، أو خفض معدل إنتاج النافذ المعالج).

٧. استخدام خطوط ضغط منخفض من البني في سي، الليولي إيثيلين ، أو الصوف الزجاجي، والطلاءات ومواسير الضغط العالي من الصلب المقاوم ٣٠٤ أو ٣١٦ لخفض كمية نواتج تآكل الحديد في التغذية.

تركيز الاستقطاب: Concentration Polarization

تركيز الاستقطاب أو تكوين طبقة حجز مركزة من المذاب تلي سطح الغشاء، يمكن ذلك أن يقلل إنتاجية نظام للتناضح العكسي، يمكن خفضه كذلك بزيادة الاضطراب وخفض نظام الاستعادة.

الاستخدامات:

Electroplating: صناعة الطلاء الكهربى

لحد أهم الاستخدامات للتناضح العكسي هو في مجال الطلاء الكهربى. النوع والاستخدام موضح في الجدول (١٢/٢)

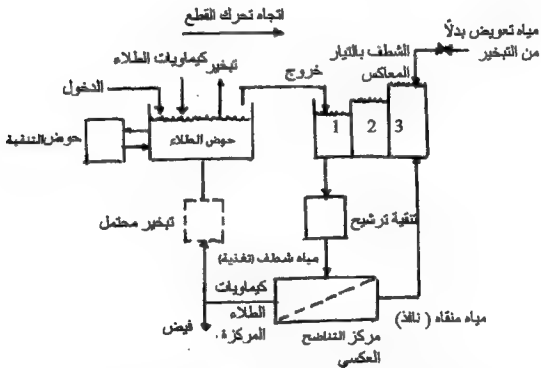
جدول (١٢/٢) منشآت للتناضح العكسي المستخدمة في صناعة الطلاء الكهربى

نوع محتوى الحمام	نوع الغشاء	شكل الغشاء
نيكل لامع سلفاميت النيكل	سيليلوز أسيتيت	لف حلزوني
كبريتات النحاس	بولي أميد وسيليلوز تراى أسيتيت	طبقة رقيقة مركبة ، شعيرة جوفاء، لف حلزوني
سيانيد النحاس الأصفر (Brass)	بولي أميد وسيليلوز تراى أسيتيت	شعيرة جوفاء
سيانيد النحاس	بولي أميد	شعيرة جوفاء

مخطط لعملية الطلاء الكهربى التي يستخدم فيها للتناضح العكسي لاستعادة المعادن لإعادة استخدامها في أحواض الطلاء الكهربى موضح في الشكل (١٢/٥). الأجزاء المعدنية التي يتم طلاؤها تمر بواسطة ناقل خلال ترسيب الكيماويات ويسحب معه كمية صغيرة من تلك الكيماويات إلى أحواض للشطف. لحواض الشطف تعمل على التوازى مع تدفق مياه للشطف بالاتجاه المعاكس للأجزاء المتحركة، في حالة عدم الاستعادة بالتناضح العكسي، فإن مياه الشطف من الحوض الأول يتم التخلص منها. وعند استخدام التناضح العكسي في خط الطلاء الكهربى، فإن تدفق الشطف عالي التركيز يتم تغذيته إلى

واحد أو أكثر من وحدات التناضح العكسي. السائل المركز من الوحدة يتم عودته إلى حوض الطلاء، والماء النقي يعود إلى حوض الشطف النهائي.

نظام التناضح العكسي يمكن أن يعمل في شكل حلقة مغلقة إذا كانت الحمامات تعمل عند درجة حرارة أعلا من ٥٤°م (١٣٠°فهرنهايت) لأنه عند درجات الحرارة هذه فإن تبخير الماء من الحوض يتعادل مع التدفق للدخل للمياه من نظام التناضح العكسي. بخلاف ذلك فقد يلزم خطوة إضافية (مثل للتبخير) لإزالة الماء الزائد من مركز التناضح العكسي.



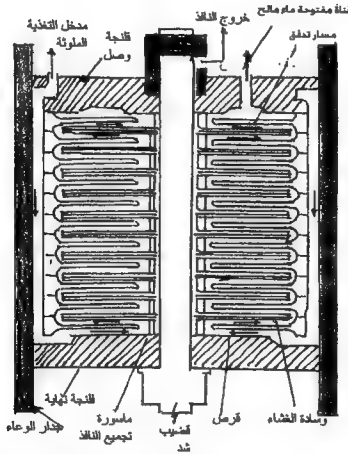
شكل (12/5) مخطط أساسي لنظام التناضح العكسي لمعالجة مياه شطف الطلاء المعدني

الغسيل بالتربة لنزع الأملاح المعدنية منها: Land Fill Leachate

حتى قريباً كان التناضح العكسي طريقة غير عملية لمعالجة أحجام ضخمة من المحاليل عالية التلوث مثل غسيل التربة لنزع الأملاح المعدنية وذلك بسبب الترسبات العضوية على الغشاء (Fouling). ولكن مع بعض التغييرات لشكل التدفق في وحدة التناضح العكسي، وكذلك التحسينات في مواد الغشاء فإن التناضح العكسي يعتبر حالياً بديل اقتصادي لاستعادة العديد من الملوثات من التدفقات المائية ذات الحجم الكبير. تلك التقنية الجديدة تسمى نظام أنبوب القرص (Disk Tube).

كما هو موضح في الشكل (١٢/٦) فإن نظام أنبوب القراص يتكون من وعاء أسطوانى بطول حوالى ١,٢ متر (٤ قدم) وقطر ٢٠ سم (٨ بوصة) مملوء بواسطة ١٧٠ قرص و ١٦٩ وسادة غشائية ذات الثمانية أضلاع عالقين معاً بواسطة قضيب شد (Tension Rod). للقرص يعزل ويحمل كل غشاء لخلق قناة مفتوحة لمرر التدفق خلال الوحدة.

كل غشاء له مساحة سطحية مؤثرة مقدارها ٠,٠٤٥ متر مربع (٠,٤٨٧ قدم مربع). بما يوفر مساحة كلية لسطح الغشاء ٧,٦ متر مربع (٨٢,٣ قدم مربع) لكل وحدة (Module).



شكل (١٢/٦) وحدة للتدفق العكسي بقرص الأنبوب

المياه الملوثة تدخل أعلا الوحدة وتتدفق إلى أسفل محيط الوعاء. من قاع الوحدة، يبدأ مرور المياه الملوثة بقوة خلال كل غشاء وحول كل قرص. الماء الملوثة تدفق في ممر موازى، وليس عمودياً، نحو الأغشية الشبه نفاذه، لشكال التدفق هذه، وكذلك التدفق المضطرب خلال الوحدة يعيق ترسيب الملوثات مباشرة علي سطح الغشاء. الماء التنظيف

يمر خلال وسادات الغشاء إلي أنبوب لتجميع الموجود في وسط الوحدة هذا النافذ (Permeate) عندئذ يتدفق بحرية خارج قمة الوحدة، الماء الذي يظل في متاهة القرص أو للغشاء يصبح زائد التركيز ويخرج من النظام في شكل ماء عالي الملوحة (Brine)، الماء عالي الملوحة يمكن إما معالجته ثانياً في الوحدة أو بطريقة معالجة أخرى (مثل التجميد والتصلب أو التبخير) والتخلص.

لقد أثبتت تكنولوجيا أنبوب القرص القدرة علي إزالة الزرنيخ والكروم، سيانيد، الهيدروكربونات ، النيكل، الكربون العضوي الكلي (TOC)، والفناديوم من مياه غسيل التربة (Leachate) بكفاءة. يمكن استخدامها في معالجة أنواع أخرى من المياه الملوثة كذلك.

الاعتبارات الاقتصادية:

التكاليف للرسمالية: بالإضافة إلي تكلفة الأغشية فهناك تكلفة أخرى تشمل الطلمبات، المواسير، أجهزة التحكم ونظم المعالجة المسبقة والتخزين، ولكن وحدات الأغشية تمثل أقل من ٣٠% من تكلفة كل النظام.

التكاليف الجارية: أكبر تكلفة جارية هي استبدال الغشاء. في الواقع فإن هذا العامل فقط هو الذي يحدد الاستخدام المعين. رغم أن الأغشية في عمليات إزالة الملوحة يمكن أن تكون خدمتها لمدة خمس سنوات ، إلا أن عمر الغشاء في استخدامات معالجة الصرف يحتمل أن يكون أقل كثيراً. هذا بالإضافة إلي التكاليف الأخرى الخاصة بالتشغيل والصيانة مثل استهلاك الطاقة للطلمبات، العمالة، استبدال خرطوشة الترشيح وكيمائيات المعالجة المسبقة وكيمائيات غسيل الغشاء. في نظم الحلقة المقفلة حيث تراكم الملوثات قد يحدث، فإن تكلفة توفير مواد خام عالية التكلفة مثل الماء الخالي من الأيونات لأحواض شطف الطلاء الكهربائي، يجب أن يؤخذ في الاعتبار كذلك.

٢. الترشيح عالي اللقطة والترشيح فائق اللقطة:

Ultrafiltration and Hyper Filtration (UF, HF):

الترشيح عالي اللقطة والترشيح فائق اللقطة يستخدم الضغط والغشاء الشبه نفاذ لفصل المواد غير الأيونية من المذيب (مثل الماء). تقنيات الفصل هذه مؤثرة تحديداً في إزالة المواد الصلبة للعائقة، الزيوت والشحوم، والمركبات العضوية ذات الجزيئات الضخمة، والمعادن الثقيلة في شكل مركبات معقدة من تدفقات مياه الصرف.

في نظم (UF, HF)، الأغشية تحجز المواد طبقاً للحجم، الشكل، مرونة الجزيء. مع ضخ محلول للتغذية خلال وحدة الغشاء، فإن الغشاء يعمل كمخزل لحجز المواد المذابة والعالقة الضخمة والتي يصعب مرورها خلال المسام. المواد المحتجزة (المركز) عندئذ تخرج من الوحدة منفصلة من المنيب المنقي أو النافذ.

الفرق الرئيسي بين (UF)، (HF) هو أن HF يزيل المواد ذات وزن جزيئي من 100 إلى 500، UF يزيل مواد ذات وزن جزيئي أكبر من 500. طرق فصل الغشائين تستخدم نفس مبادئ التشغيل. (رغم أن التناضح العكسي يسمى الترشيح للفائق (HF)، إلا أن هذه تسمية خاطئة لأن كلا العمليتين لهما نظم عمل مختلفة واستخدامات مختلفة.

خواص الغشاء: (Membrane Characteristics)

أغشية (HF)، (UF) لهما بناء غير متماثل مصمم لتعظيم الإنتاجية على وحدة المساحة السطحية. وهي تتكون من طبقة سطحية رقيقة (من 0.1 إلى 1 ميكرومتر)، انتقائية محملة بواسطة طبقة مسامية أسفنجية بسمك حوالي 100 ميكرومتر. حجم ثقب الغشاء يتراوح من 10 إلى 1000 وحدة أنجسترون. مواد الغشاء العادية هي كلاً من (Polysulfone)، السيليلوز أسيتيت. البولي ملفون هو الأكثر استخداماً حيث يمكنه تحمل درجات الحرارة ما بين صفر، 79°م (32° إلى 175° درجة فهرنهايت) ورقم هيدروجيني من أقل من واحد حتى 13. يمكن كذلك تنظيفه بمواد نظافة عديدة، كذلك فإن السيليلوز أسيتيت يعتبر غشاء محبوب رغم أنه يمكن استخدامه فقط عند رقم هيدروجيني من 2.5 إلى 7 ودرجات حرارة من صفر حتى 50°م (32-122° درجة فهرنهايت).

تصميم الوحدة: Module Design

المتاح هو العديد من أشكال غشاء (UF)، (HF) والتي تختلف في المعبر، نسبة مساحة الغشاء/الحجم، مقاومة الترسبات العضوية، والتي تكون (1) أنبوبية (2) لف حلزوني (3) شعيرة جوفاء (4) اللوح والإطار.

الجدول (12/3) يبين مميزات وعيوب تلك الأنواع الأربعة للوحدات. وحدات (HF)، (UF)، الأنبوبية واللف الحلزوني تشبه لتلك المستخدمة في التناضح العكسي. لذلك فإنه سيتم فقط مناقشة الوحدات ذات الشعيرة الجوفاء، اللوح والإطار لكل من (UF)، (HF).

جدول (١٢/٣) مقارنة لاشكال الترشيح العالي والفائق

نوع الوحدة	المميزات	السلبيات
الأنبوبي	<ul style="list-style-type: none"> سهولة النظافة كيمياوياً وميكانيكياً إذا حدث تر/سبب عضوي علي الأغشية . يمكن معالجة التغذية ذات المحتوي العالي من المواد الصلبة العالقة مع أدني معالجة مسبقة. التحكم الجيد الهيدروديناميكي. يمكن استبدال المواسير. 	<ul style="list-style-type: none"> مكلف نسبياً يلزم حجم كبير نسبياً لوحدة المساحة للغشاء.
اللف الحلزوني	<ul style="list-style-type: none"> مدمج نسبة سطح الغشاء إلي الحجم جيدة . أقل تكلفة مقارنة بالوحدات الأنبوبية. 	<ul style="list-style-type: none"> معرض للانسداد بالجسيمات. يصعب نظافة الترسيبات العضوية علي الغشاء.
الشعيرة الجوفاء	<ul style="list-style-type: none"> مدمج، نسبة السطح للغشاء إلي الحجم جيدة جداً. اقتصادي 	<ul style="list-style-type: none"> معرض جداً للانسداد بالجسيمات نظافته صعبة
اللووح والإطار	<ul style="list-style-type: none"> نسبة سطح الغشاء إلي الحجم جيدة 	<ul style="list-style-type: none"> معرض للانسداد عند نقط ركود التدفق. نظافته صعبة. مكلف.

وحدات الشعيرة الجوفاء عالية الترشيح وفائقة الترشيح:

UF and HF Hollow – fiber Modules

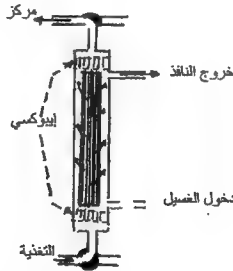
تختلف وحدات الشعيرة للجوفاء عالية للترشيح وفائقة للترشيح في التصميم عند تلك المستخدمة في التناضح العكسي. يتكون غشاء الشعيرة الجوفاء لـ HF, UF من (Acrylic Copolymer) وله سطح خارجي (Skin) بسبك ٠,١ ميكرومتر علي الداخل ومحمل بواسطة منشأ خارجي أسفنجي، الشعيرات التي هي كبيرة إلي حد ما مقارنة بتلك المستخدمة في التناضح العكسي يمكن أن يكون لها قطر داخلي مقداره ١١٠٠ ميكرومتر

الفصل الثاني عشر

(للاستخدامات ذات الترسيب العضوي العالي) أو ٥٠٠ ميكرومتر (للاستخدامات ذات الترسيب العضوي المنخفض).

كما هو موضح في الشكل (١٢/٧) ، المرشحات تكون مصفوفة بطريقة متوازية وهي تكون محتواه في وعاء في الأيوكسي علي كلا النهايتين داخل وعاء الضغط المنخفض. التغذية تدخل الوعاء عند أحد النهايات وتتدفق خلال داخل غشاء الشعيرات. المواد المذابة ذات الوزن الجزيئي المنخفض والماء ينفذان من السطح الخارجي للغشاء الداخلي ويزالان خلال وعاء المنتج. المادة المنبوذة (Reject) تستمر في التدفق خلال الشعيرات وتزال عند النهاية الأخرى للوعاء.

في حالة حدوث ترسيبات للملوثات العضوية (Fouling)، فإن حزمه الشعيرة يمكن غسلها العكسي ودفعها بتدوير للتغذية ومحلول آخر خلال الثقوب حيث يكون منفذ النافذ مغلقاً (Per Meate Port).

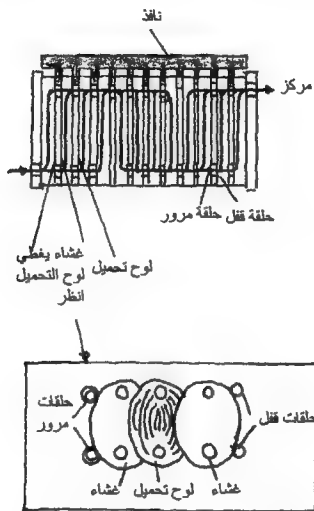


شكل (12/7) وحدة الترشيح الفائق بالشعيرة الجوفاء

وحدات اللوح والإطار للترشيح العالي:

تتكون وحدات الترشيح العالي باللوح والإطار من ألواح تحميل مغطاة بالغشاء مصفوفة أفقياً في جهاز الإطار شكل (١٢/٨). عند انضغاط الألواح هيدروليكية (عند ضغط حتي مليون بار أو ١٤٥ رطل / البوصة المربعة) فإن الثقوب في الألواح المغطاة بالغشاء تكون قنوات تدفق للتغذية وللمركز مع تدفق للتغذية بين الألواح المغطاة بالغشاء، فإن النافذ يخرج خلال ألواح التحميل ويتم تجميعه عند قمة للوحدة.

السائل المتبقي يستمر في التدفق خلال الوحدة للمعالجة التالية، للمركز يترك للوحدة عند النهاية المعاكسة للتغذية. التدفق الداخلي خلال الوحدة قد ينظم بالجمع بين التدفق الموازي وعلى التوالي باستخدام ألواح مقطع (Section Plates).



شكل (12/8) وحدة الترشيح الغشائي باللوح والإطار

اعتبارات التصميم:

تركيز الاستقطاب هو مشكلة في نظم الترشيح الغشائي تزيد عن حالة استخدامات التناضح العكسي. هذا يعود إلى ثوابت التسرب الصغيرة للمواد العضوية، والتي تحد تسرب المواد المحتجزة بواسطة الغشاء إلى السائل. تأثيرات تركيز الاستقطاب يمكن خفضها بالعمل عند سرعات تغذية أعلا أو زيادة درجة حرارة المعالجة. للتدفق عادة يتضاعف لزيادة درجة الحرارة من ١٥-٢٥°م.

تقنيات تحسين أداء الترشيع العالي:

يمكن إضافة مواد النشاط السطحي (Surfactants) إلى مياه الصرف بهدف تحسين أداء الترشيع العالي. وهذه العملية تسمى تعزيز الترشيع العالي الجزيئي (Micellar Enhanced UF)، وهو يستخدم في مياه الصرف المحتوية على مواد عضوية ذات وزن جزيئي منخفض ومعادن ثقيلة (الوزن الجزيئي أقل من ٣٠٠). عند الإضافة بتركيزات منخفضة فإن مواد النشاط السطحي تكون حبيبات ذات من ٢٠-٣٠ جزيئ مستديرة أو اسطوانية والتي تسمى (Micelles) أو الجزيئات أو الأيونات الغروية، البناء الجزيئي الضخم هذا يعمل مثل نقاط من المذيب العضوي مع غطاءات أيونية. الملوثات العضوية تتم إذابتها بواسطة لب (Micelles)، بينما الأيونات عديدة التكافؤ (المعادن الثقيلة) تكون مرتبطة بالغطاء الأيوني. النتيجة هي حبيبات كبيرة بما يكفي لطردها بواسطة غشاء الترشيع العالي. مواد النشاط السطحي الكاتيونية (ذات الشحنة الموجبة) تستخدم لإزالة المواد العضوية ومواد النشاط السطحي الأن أيونية (Anionic) تستخدم لإزالة المعادن الثقيلة.

التقنية المختلطة التي تجمع الرباط البوليمر الانتقائي (Selective Polymeric Binding) مع الترشيع العالي تم بحثها كذلك لتحسين أداء الترشيع العالي في إزالة الزرنيخ، في هذه التقنية يتم أولاً خلط المياه للملوث على محلول البوليمر مثل (Polyethy Lamine) الذي يرتبط انتقائياً مع المعدن. يلي ذلك، تتم معالجة خليط الماء/البوليمر باستخدام غشاء الترشيع العالي الذي يحتجز الزرنيخ المتحد بينما يسمح للمياه للمعالجة بالمرور. لقد أظهرت الاختبارات أن هذه التقنية مؤثرة في معالجة المياه ذات المحتوى المنخفض من الزرنيخ. مثال، معالجة مياه محتوية على ٠,٣ جزء في المليون . زرنيخ قد أنتج مياه ذات محتوى أقل من واحد جزء في المليون من الزرنيخ (مايزيد عن نسبة إزالة ٩٩,٩%).

الاستخدامات:

عادة يستخدم الترشيع للفائق والترشيع العالي في عمليات مختلفة لإزالة الملوثات.

١. إزالة المعادن السامة المعقدة من مياه الصرف لتنطيط المعدن.
٢. تركيز المخلفات الزيتية من مياه شطف المعادن، مياه شطف تشكيل المعطبات، مياه شطف نظافة لفات الألومنيوم والصلب، ومياه صرف المنظفات الصناعية من نظافة شاسيات القطارات والطائرات.
٣. تركيز حمامات طلاء الترسيب الكهربائي لإزالة الماء والملوثات.

٤. إستعادة الزيت من مستحلبات المخلفات من الزيت في عمليات تشغيل ودرفلة المعادن.

٥. إزالة الصبغات من مياه صرف الصناعات النسيجية.

٣. الديليزة الكهربائية أو الفروز الكهربى: (Electrodialysis)

تعتمد الديليزة الكهربائية علي أغشية التبادل الأيوني في مجال تيار كهربى ثابت لفصل الأيونات من المحلول، مثل أغشية التناضح العكسي فإن أغشية الديليزة الكهربائية حساسة لترسيب الملوثات العضوية (Fouling). هذه الحساسية قد قيدت من استخدامات تلك التقنية في معالجة مياه الصرف، ولكن للتطوير الذى حدث بالنسبة لعملية الديليزة الكهربائية العكسية (Electrodialysis Reversal) قد قلل إلي حد كبير التعقيدات بسبب تلك الترسبات.

Convential Electrodialysis: الديليزة الكهربائية التقليدية:

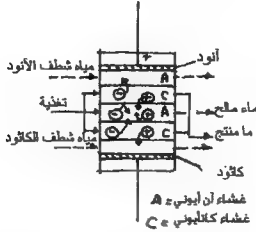
الشكل (١٢/٩) يبين مخطط لخلية الديليزة الكهربائية. تتكون الخلية من أنود وكاثود معزولين بواسطة اثنين من أغشية الكاتايون الانتقائية، ثلاث غرف تدفق للسائل، واثنين من الأغشية الآن أيونية الانتقائية.

كل من الأقطاب يتم شطفه لإزالة التراكم المحلى للهيدروجين عند الكاثود، الأكسجين عند الأنود.

التغذية للبطارية تتم إدخالها إلي مسار التدفق بين الأغشية الكاتايونية ولأن أيونية، الغشاء الكاتايوني سوف يمرر فقط الكاتايونات، والغشاء الآن أيوني سوف يمرر فقط الآن أيونات. عند استخدام شحنة تيار ثابت في الخلية.

فإن الكاتايونات تتجذب نحو الكاثود (سالب الشحنة) والآن أيونات تتجذب نحو الأنود (موجب الشحنة). الأيونات في التغذية سوف تمر خلال الأغشية طبقاً لشحنتها، لذلك، تتم إزالة الأملاح من تدفقات الغذاء.

عند مقابلة أيون من تدفق الغذاء لغشاء إنتقائي لأيونات ذات شحنة معاكسة، فإن حركته نحو القطب المناسب تتعثر، لذلك فإن الأيونات عندئذ تستنزف من واحد من ممر التدفق وتتركز في ممر التدفق المجاور. بتنظيم خطوط تجميع الممرات المناسبة، فإنه يتم تجميع المياه المنتجة والمياه عالية الملوحة (Brine).



شكل (12/9) مخطط الخلية الديليزة الكهربائية

عملية البلمرة العكسية : Reversible Electrodialysis Process

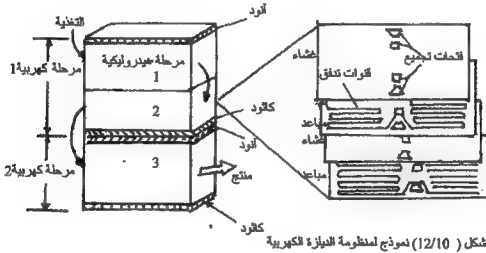
بهدف خفض ترسيب الملوثات العضوية فإن كل منشآت الديليزة الكهربائية الجديدة تستخدم الديليزة الكهربائية العكسية، والتي تعكس من أن إلي آخر قطبية خلايا الديليزة الكهربائية. يتم ذلك باستخدام الأغشية التي تعمل بشكل أي من الطريقة الانتقائية الآن أيونية أو الكاتيونية، أقطاب التيتانيوم المغطاة بالبلاطين التي يمكن أن تعمل كاثودات أو أنودات. في حالة عكس القطبية (Perversing Polarity) لخلايا الديليزة الكهربائية، فإن التدفق إلي ومن الغرف المركزه والمستغزه يتم عكسه. الترسيبات وطبقات السطح تميل إلي إعادة الإذابة أو أن تنظف طبيعيا عند عكس التدفق. بهدف عمل هذا التدفق المعاكس، فإنه يلزم نظم المحبس الآلي لاحتواء التغيرات في وظائف المكون. بالنسبة للنظم حيث الدورات كل ٢٠ دقيقة فإن انعكاس كل تدفق يتم بواسطة ١-٢ دقيقة غسيل والذي يزيل ترسيبات أي نواتج تلوث.

نظام عمل الديليزة الكهربائية:

الشكل (١٢/١٠) يبين منظومة الديليزة الكهربائية والتي قد تحتوي علي المئات من الخلايا في شكل الوضع الأفقي أو الرأسي، الأغشية بسبك تقليدي ٠,٥ ملمتر ومسارات التدفق تتكون مبعادات بسبك واحد ملمتر ذات قنوات قطع توقف (Die-Out) لتوزيع السائل فوق سطح الغشاء. المبعادات التبادلية تحتوي فتحات أنابيب التجميع لتدقيق السائل: محلول التغذية في الماء الخالي من الأيونات. خارج، أو الماء المالح خارج. عند الاستخدام كمرحلة واحدة فإن كل الغرف التبادلية تعمل علي التوازي بعيدا عن أنابيب التجميع.

ممر واحد خلال خلية الديليزة الكهربائية سوف ينتج نسبة الإزالة للملوحة من ٣٠ إلى ٦٠%. في حالة الرغبة في درجة أعلا من إزالة الملوحة فإن التغذية يجب أن تمر خلال مرحلة ثانية علي التوالي.

طبقاً لحجم المياه الجاري معالجتها، فإن منظومة الديليزة الكهربائية قد تحتوي العديد من المراحل الهيدروليكية والكهربائية، لذلك، فإن مياه التغذية قد تمر خلال مرحلتين ذات كاثودات وأنودات واحدة، ثم خلال المرحلة الأخيرة ذات الكاثودات والأنودات المنفصلة، لكل في نفس المنظومة. أحد المنتجين (Ionics) يستخدم مرحلة واحدة للمنظومة لمعدلات تدفق تزيد عن ٥٤٦ متر مكعب في اليوم ومراحل متعددة للمنظومة لتدفقات أقل من ٥٤٦ متر مكعب في اليوم.



شكل (12/10) نموذج لمنظومة الديليزة الكهربائية

الاستخدامات: Applications

حيث أن الديليزة الكهربائية مناسبة فقط في إزالة أو تركيز المواد الأيونية، فإن صناعة تشطيب المعادن. الطلاء المعنني هي أكبر سوق لتلك النظم.

الشكل (١٢/١١) مخطط لنظام الديليزة الكهربائية المستخدمة في معالجة مياه الشطف من خط الطلاء المعنني بالنيكل، المياه المحتوية علي أملاح النيكل من حوض الشطف رقم (١) يتم ضخها خلال مرشح المعالجة المسبقة. في حالة استخدام كيماويات عضوية في العملية، فقد يوجد مرشح للكربون للمنشط بهدف إزالة المواد الصلبة العالقة التي يمكن أن تسبب حدوث ملوثات عضوية لمنظومة الديليزة الكهربائية.

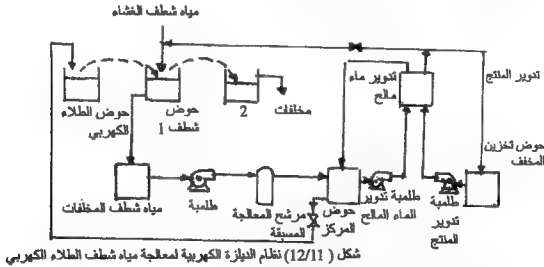
منظومة الديليزة الكهربائية تعمل عند ضغط ٤٠ إلى ٦٠ رطل علي البوصة المربعة والمحلول الملحي المركز الذي يترك للمنظومة يتم تكويره للتغذية حتي وصول التركيز المطلوب للنيل في المسائل الملحي المركز إلي المقدار المطلوب. الكيماويات حوض

الفصل الثاني عشر

التركيز يتم تدويرها إلي أحواض الطلاء المعدني، والماء المنتج يتم تدويره إلي أحواض الشطف.

التحول الكلي في نظام الدليزة الكهربائية هو ٩٠% أي أن ٩٠% من تدفق التغذية تتم استعادته كماء منتج. نظراً لوجود بعض التسرب للأيونات بين تدفقات الماء المالح والمنتج، فإن تركيز أملاح النيكل في الماء المنتج هو ١٠% تقريباً من التركيز في تدفق التغذية، تركيز الملح في التغذية، للمركز، الماء المنتج كانت ١٤٢٨٠ ملجرام/لتر، ١٣٠٠ ملجرام/لتر علي التوالي.

عموماً، مساحة متطلبات الغشاء (أي للتكاليف الرأسمالية) واستهلاك الطاقة يزداد مع الزيادة في تركيزات الأملاح الكلية المذابة، نتيجة لذلك في حالة عدم إنتاج تدفق ذو قيمة للمركز، فإن الدليزة الكهربائية عموماً تكون محدودة لتدفقات غذاء ذات محتويات متوسطة من الأملاح الكلية المذابة، معظم للنظم المتاحة تستخدم لمعالجة المياه الخمضاء (Brackish Water) ذات تركيزات من الأملاح الكلية المذابة أقل من ٥٠٠٠ ملجرام/لتر. في حالة إنتاج مركز ذو قيمة فإن الأملاح يمكن تركيزها إلي نسبة ٢٠% أو أكثر. هذا خارج مجال الاستخدام للمجدى لنظم للتناضح العكسي.

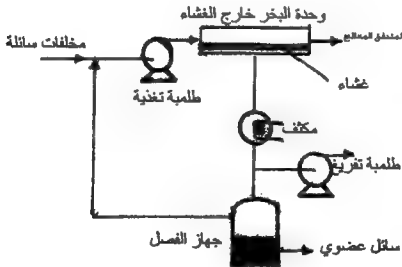


التبخير خارج الغشاء: Pervaporation

الإضافة إلي تقنيات الفصل الغشائي التقليدية ، فقد استخدمت طريقة جديدة للفصل الغشائي. وتسمى تلك التقنية نظام التبخير خارج الغشاء بالتدفق المتقاطع (Cross Flow Pervaporation systems) لإزالة المركبات العضوية المتطايرة من الماء. يمكن استخدام هذه التقنية لإصلاح وعلاج المياه الجوفية، مياه الغسيل للتربة لإزالة الأملاح، مياه الصرف التي تحتوي علي المذيبات، المنظفات للصناعية ، لجازولين. في عملية التبخير خارج الغشاء يستخدم الغشاء لنفاذ العضوي المصنوع من البلورات المخففة

مثل مطاط السيليكون (Silicon Rubber). أو من البولي إيثيلين لامتنصاص المركبات المركبات العضوية المتطايرة، انتقائياً من المياه الملوثة، كما هو موضح في الشكل (١٢/١) فإنه يتم ضخ المخلفات المائية السائلة محورياً خلال وحدة الغشاء. المركبات العضوية المتطايرة تتسرب خلال الغشاء وتُسحب إلى الخارج بواسطة طلمبة تفريغ. الإنتقال خلال الغشاء يتم باستمرار للتفريغ على جانب النافذ (Permeate) من الغشاء أو الضغط للموجب على جانب الغذاء. المكثف الذي يوضع فوق التيار لطلمبة التفريغ يكتف ويحتفظ بالأبخرة النافذة لمنع حدوث انبعاثات ضارة. المكثف ينفصل إلى المجال السائل المائي والمجال العضوي، بما يسمح بإزالة المواد العضوية.

طبقاً للملوثات العضوية ثم تحقيق معاملات تركيز ما بين ٥ إلى ٢٠٠ ضعف. وقد يمكن إزالة ما يزيد عن ٩٩% من التراي كلوروايثيلين في مرر واحد. في حالة تعدد الممرات أو استخدام أغشية أكثر فقد تم خفض مستويات التراي كلوروايثيلين من ٢٥٠ جزء في المليون إلى أقل من مستوى الكشف (أقل من واحد جزء في المليون). أداء الفصل لنظام التبخير خارج الغشاء بالتدفق المتقاطع يزداد مع زيادة درجة الحرارة، ولكن الحد الأعلى لدرجة الحرارة للغشاء هو ٣٥°م.



شكل (١٢/١٢) مخطط لعملية التبخير خارج الغشاء

الفصل الثالث عشر

التجريد بالهواء والتجريد ببخار الماء

Air Stripping And Steam Stripping

13

١. مقدمة:

التجريد هو عملية طبيعية حيث يتم نقل الجزيئات المذابة من السائل إلى تدفق الغاز أو تدفق بخار الماء. القوة الدافعة لانتقال المادة يتم توفيرها بالتدرج في التركيز بين المجالات السائل والغاز، مع تحرك جزيئات المذاب من السائل إلى الغاز حتى الوصول إلى حالة الاتزان.

في التجريد بالهواء والتي يعني بها التنقية، يكون الغاز المتحرك هو الهواء، عادة عند درجة الحرارة والضغط العادي وعلاقة الإتران الحاكمة هي قانون هنري. عند الاستخدام لمعالجة المخلفات الخطره، فإن تجريد الهواء يستخدم لإزالة الملوثات العضوية المذابة المتطايرة نسبياً من الماء أو من المخلفات المائية. تركيزات التغذية العملية تكون محدودة بحوالي ١٠٠ ملجم/لتر من المواد العضوية. برج الحشو المصمم جيداً ويعمل بكفاءة والمستخدم كوحدة تجريد بالهواء (Airstripper) يمكن أن يحقق نسبة إزالة تزيد عن ٩٠% من المواد العضوية المتطايرة من الماء. المتبقي من عملية التجريد والتنقية بالهواء تشمل مياه معالجة، عادة مناسب لإعادة الاستخدام والغازات الملوثة الخارجه.

التجريد أو التنقية بالبخار تستخدم بخار الماء الحي ك مجال غازي، في هذه الحالة، فإن الاتزان للبخار والسائل بين الماء والمركبات العضوية هو العلاقة الحاكمة للإتران. كما في حالة التجريد بالهواء، فإن التجريد بالبخار يستخدم بنجاح لإزالة المركبات العضوية الخطره من المخلفات المائية. للتنقية بالبخار هي الأكثر استخداماً في أنه يمكنه إزالة المركبات الأقل تطايراً أو الأكثر إذابة والتي ليس من السهل إزالتها بالتجريد الهوائي.

أمثلة، هي ميثيل ليثيل كيتون و بنتاكلوروفينول. التركيزات العالية من المنيب في الماء يمكن تداولها. كذلك، يتوقع إزالة أكثر من ٩٩%. كذلك فإن التجريد بالبخار

قد استخدم لإزالة المذيبات التي لا تنوب في الماء وتكوّرها من مثل الملوثات غير المتطايرة مثل الزيت والشحوم ، الراتنجات المبلّرة، اللبويات. التجريد بالبخار ينتج تدفقات قاع معالجة وبخار علوي - البخار العلوي يتم تكثيفه للمعالجة التالية أو الاستعادة.

في هذا الفصل سوف يتم توفير معلومات حول كلا من التنقية بالهواء وبالبخار حيث يتم استخدامهم عادة في معالجة المخلفات الخطره.

٢. التجريد (التنقية) بالهواء: Air Stripping

القابلية للتطبيق:

التجريد بالهواء يفيد في إزالة المركبات العضوية المتطايرة من الماء لو من تدفقات المخلفات المائية، المركبات العضوية المتطايرة ذات ثابت قانون هنري أكبر من ١٠ جوي تكون قابلة للتجريد بالهواء عند درجة الحرارة العادية. تلك تشمل المذيبات الكلورية مثل (Methylene , 1,1,1,TrichloroEthane, Tetrachloro) Ethylene, Chloride) المذيبات الأروماتية مثل البنزين والتولوين، التراي هالوميثان، التجريد الهوائي استخدم علي نطاق واسع في إصلاح الخزانات الجوفية الملوثة بالمذيبات، وخاصة للمستويات المنخفضة من المذيبات المتطايرة، حيث يكون التلوث ناتجاً عن التسرب من الخزانات المدفونة تحت الأرض.

كذلك يمكن استخدام التجريد بالهواء لإزالة المواد المتطايرة من المخلفات المائية الصناعية المحتوية علي آثار من المذيبات المذابة.

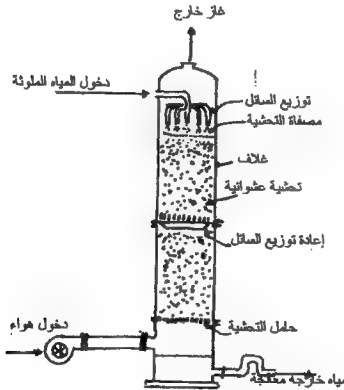
القيود لخواص المخلفات:

تطبيقات التجريد بالهواء تكون محدودة للمخلفات المائية السائلة المخففة مع ملوثات عضوية متطايرة أقل من حوالي ١٠٠ ملجرام/لتر. المواد الصلبة في تدفقات المخلفات يلزم إزالتها قبل التجريد بالهواء. أملاح الحديدوز الموجودة طبيعياً في المياه الجوفية الملوثة يتم أكسنتها بالانتصاق مع الهواء في برج التجريد، أيروكسيد الحديد الناتج سوف يرسب علي التحشية بما يزيد من النقص في الضغط خلال البرج وخفض المساحة السطحية المتاحة لانتصاق الهواء - الماء. لتجنب تلك المشكلة، فإن الحديد يلزم أكسنته واستعادته بالترشيح فوق التيار لوحدة التجريد بالهواء.

وصف العملية:

رغم أنه يمكن تحقيق الانتقال للمواد المتطايرة من الماء إلي الهواء في الأحواض المهيأة، الرشاشات أو أبراج الرش فإن التجريد بالهواء يتم بكفاءة في برج الحشو مع التدفق المعاكس للهواء والماء. مثل هذا للتجهيز موضح في الشكل (١/١٣).

يتم ضخ الماء الملوث إلي أعلا البرج وتوزيعه بانتظام عبر الحشو، حيث يتدفق إلي أسفل في طبقة رقيقة علي طول أسطح الحشو. يتم دفع الهواء عند قاع البرج حيث يتدفق إلي أعلا، ملتصقا مع الماء، عملية برج الحشو توفر مستوى عالي من الإضطراب ومساحات سطحية كبيرة جداً لانتقال المادة، المواد العضوية المتطايرة تنتقل من الماء إلي الهواء وتحمل إلي قمة البرج.



شكل (13/1) برج الحشو بالتجريد بالهواء

التجريد بالهواء في برج الصواني:

في برج التجريد الهوائي بالصواني يتم استخدام نفس التصميم كما في حالة التهوية لبرج الحشو حيث تستخدم للصواني بدلا من الحشو العشوائي. في برج

لصواني تكون المياه الملوثة طبقة رقيقة علي صواني التجريد. الهواء الذى يتم دفعة عند قاعدة البرج يتدفق إلي أعلا خلال تقوب عديدة في قاع الصانية، بما ينتج عنه رغاوي من الفقاعات. في برج التجريد بالصواني يكون الهواء مسئولاً عن توفير المساحة السطحية لانتقال المادة بالإضافة إلي تطاير الملوثات القابلة للتجريد. أداء برج الصواني يمكن عند ارتفاع نسبة الهواء إلي الماء. كذلك يمكن العمل عند العديد من معدلات التدفق وكذلك سهولة الصيانة وخاصة في إزالة للترسيبات والترسيبات الأخرى من الملوثات العضوية.

اعتبارات التصميم:

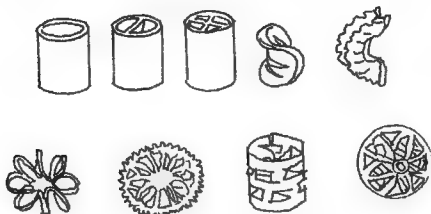
يتكون برج الحشو للتجريد الهوائي من غلاف البرج، عادة التحشية، داخل البرج الذى يشمل موزع السائل، وتجهيزات إعادة للتوزيع، لوح حمل التحشية، ووسادة إزالة الرطوبة الضبابية، الطلمبات والمواسير للماء، ونافخ لتوفير الهواء إلي قاعدة البرج.

مواد الصنع لإنشاء غلاف للبرج هي البلاستيك المقوي بالشعيرات، الألومنيوم الصلب الكربوني المغطى، والصلب المقاوم. التحشية من البلاستيك عادة تكون من البولي إيثيلين أو من البولي بروبيلين خفيف الوزن، مقاوم للتآكل وغير مكلف. يمكن استخدام التحشية من السيراميك أو من الصلب عند التشغيل في درجة الحرارة العالية. استمرار تجانس تدفق المياه خلال برج التحشية من متطلبات كفاءة العمل. موزعات التغذية يمكن أن تكون من أنواع مختلفة من الصواني، الأحواض، الهدارات، فتحات الرش، المواسير.

في حالة الأبراج الطويلة يمكن وضع تجهيزات إعادة توزيع السائل (Liquid Redistributors) الصواني أو الحلقات عند فواصل حوالي ١٠ قدم (٣,٠٤٨ متر) لإعادة توجيه أى قنوات مائية علي طول جدار البرج ثانياً إلي التحشية.

العناصر الحاكمة في تصميم للتجريد بالهواء هي معدل تحميل السائل، نسبة الهواء إلي الماء، ارتفاع للتحشية، وخواص تحشية للبرج، يتراوح القطر التقليدي للبرج من واحد إلي ١٢ قدم (٠,٣ إلي ٣,٦٦ متر) وارتفاعات التحشية من ٥ إلي ٥٠ قدم (١,٥ إلي ١٥,٢ متر). معدلات تحميل السائل هي عموماً من ٥ إلي ٢٠ جالون في الدقيقة علي القدم للمربع للنسب للحجمية للهواء إلي الماء تمكن أن تنخفض حتي ١٠ :

١ أو ترتفع حتى ٣٠٠: ١. توجد أنواع مختلفة من مواد الحشو من البلاستيك. الشكل (١٣/٢) يوضح أشكال مختلفة لمادة التحشية.



شكل (١٣/٢) أنواع الحشو المشوي للبرج

الآثر البيئي:

التجريد بالهواء يحول مشكلة تلوث الماء إلي مشكلة تلوث الهواء. الغازات التي تخرج من قمة البرج تحتوي كل المركبات العضوية المتطايرة السامة التي تم إزالتها من المخلفات المائية. بسبب التخفيف مع هواء التجريد والتشتت في الجو، فإن مقدار مشكلة تلوث الهواء هذه وما يرتبط بها من أخطار صحية يمكن اعتبارها أنها مهملة. ولكن في حالة عدم قبول صرف للمواد العضوية السامة فإنه يلزم عمل إجراءات التخلص من تلوث الهواء. توجد طريقتان لذلك، وهما الانمصاص بالكربون في مجال البخار، وحرق الدخان.

شلال التجريد بالهواء: Cascade Airstripping

التجريد التقليدي بالهواء هي الطريقة المناسبة عند تجريد الملوثات عالية التطاير من الماء. ولكن ، تجريد الملوثات الشبه متطايرة ومنخفضة التطاير يكون صعباً بسبب الأحمال العالية وعمق التحشية الكبير ومعدلات تنفق الهواء المطلوبة للحصول علي انتقال المادة الضروري لتحقيق كفاءة إزالة أعلا. المعدل العالي لتدفق الهواء الذي يؤدي إلي زيادة الخفض في الضغط عبر عمق التحشية يتطلب مدخلات طاقة أعلا بما يزيد من التكاليف.

للتغلب علي تلك القيود للتجريد التقليدي للهواء، فقد تم تطوير التقنية وهذه التقنية هي شلال التجريد بالهواء. في شلال التجريد بالهواء يتم توزيع تدفق الهواء خلال كل

عمق التحشية وليس مجرد دفعة خلال قاع البرج. فى الواقع معدلات تدفق الهواء لشلال التجريد بالهواء تكون منخفضة عند قاع البرج وتزداد مع حركة مخلات الهواء من القاع إلى قمة البرج. لأن تدفق الهواء يكون موزعاً على التحشية خلال عمقها، فإن ثبات التدفق الدخلى من الهواء الطازج يحافظ على التدرج فى التركيز عند مستوي عالي. هذا نتيجة تخفيف تدفق الهواء الملوث مع سريانه إلى أعلا خلال البرج. هذا التدرج العالي فى التركيز يحسن من معدل إنتقال المادة. انتقال المادة للعالي ينتج عنه تصميم برج الحشو ذو عمق أقل. كذلك، نظراً لأن تدفق الهواء لا يتغلب على مقاومة التدفق فوق كل عمق التحشية، فإنه يوجد خفض قليل فى ضغط الهواء خلال عمق التحشية. عمق للتحشية القصير وقلة الفقد فى الضغط ينتج عنه خفض فى متطلبات الطاقة. إنخفاض متطلبات الطاقة يجب أن تترجم إلى تكاليف معالجة أقل. أحد الدراسات أظهرت أن تكلفة المعالجة لشلال التدفق بالهواء يصل إلى حوالي ١٥% أقل من التجريد التقليدي بالهواء.

غشاء التجريد بالهواء: Membrane Air stripping

التقنية الأخرى التى تبحث التغلب على محدودات التجريد التقليدي بالهواء هي غشاء التجريد بالهواء الذى يعرف عند حالة الاتزان بقانون هنري. وهو يستخدم كذلك مساحة سطحية وللتصاق بين مجالين لإحداث الإزالة للتلوث. انتقال المادة يتم بالتدرج فى التركيز. الفرق الوحيد بين غشاء التجريد بالهواء وتهوية برج الحشو هي حقيقة أن المساحة السطحية يتم إمدادها بغشاء الشعيرة الجوفاء. المياه الملوثة تمر خلال داخل الشعيرات الجوفاء والهواء يتدفق فى اتجاه معاكس على طول السطح الخارجى للشعيرات. عمليات غشاء التجريد بالهواء لها بعض المميزات مقارنة بتهوية برج الحشو. يمكن استخدام معدلات تدفق هواء منخفضة لإزالة التلوث. التخلص من القنوات المائية (Water Channeling) وبالتالي قصر المسافة (Short-Circuiting) للنظام يتم التخلص منه مع استخدام وحدة الغشاء. نظراً لأن المساحة السطحية لا تعتمد على الالتصاق بين المجالين، فإنه يمكن التحكم مستقبلاً فى تكلفات كلا المجالين. وحدة الغشاء يمكنها الحصول على معدلات انتقال مادة أعلا من تهوية برج الحشو مع متطلبات معدلات منخفضة لتحميل الهواء زيادة معدلات انتقال المادة تسمح للنظام بإزالة المركبات قليلة التطاير بكفاءة أعلا.

نظراً لأن وحدة الغشاء يمكنها العمل أفقياً، فإن ضغط البخار ينخفض فقط إلى المستوى اللازم للتغلب على مقاومة التدفق خلال الشعيرات الجوفاء، بالمقارنة، أبراج الحشو عادة تتطلب ماء لئتم ضخه بارتفاع ١٠-٥ متر إلى قمة برج الحشو. السلبية في استخدام غشاء التجريد الهوائي تقع في انخفاض الضغط في مجال الهواء، حيث للزيادة في معدلات تحميل الهواء ينتج عنها خفض كبير في ضغط الهواء خلال الوحدة.

التهوية بالشلال المائل : Inclined Cascade Aeration

التهوية بالشلال المائل عملية كانت مصممة أصلاً لأكسدة مياه الصرف في تكرير السكر. في هذه العملية، يتم ضخ الماء إلى قمة سطح مائل معرج. الماء يتم إطلاقه حيث يتدفق فوق السطح بالجاذبية. اضطراب سائل الماء الملوث يسبب انتقال المادة للمواد العضوية ذات الإذابة المنخفضة من الماء إلى الهواء. تركيز المركبات العضوية المتطايرة في مجال الهواء تظل منخفضة لأن الهواء يتم استبداله باستمرار في الجو المفتوح. مع زيادة زووية السطح المائل فإن السائل الداخل يزداد اضطرابه بما يحسن من معدل الإزالة للمركبات العضوية المتطايرة. وقد ثبت أن معاملات إزالة الامصاص (Desorbtion) باستخدام التهوية بالشلال المائل كانت أعلا من تلك بواسطة أبراج الحشو. وكذلك فإن تلك التنقية تعتبر منخفضة التكاليف حيث التكاليف هي ضخ الماء إلى ارتفاع السطح المائل. كذلك فإن السطح يمكن صناعته من مواد غير مكلفة. وسلبية هذه التنقية هي تلوث الهواء الجوي بما يسبب مشاكل في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية.

التجريد ببخار الماء : Steam Stripping

كما في حالة التجريد بالهواء فإن التجريد ببخار الماء يمكن استخدامه لإزالة المركبات العضوية المتطايرة من الماء أو من تفتقات المخلفات السائلة المائية ولكن، التجريد بالبخار أكثر قبولاً للتطبيق، حيث يمكنه معالجة.

١. المخلفات المائية الملوثة بالمركبات الأكثر إذابة والأقل تطايراً وليس سريعة التجريد بالهواء، متضمنة الأسيتون، الميثانول، والبنزوكلوروفينول.
٢. التركيزات العالية من المركبات العضوية المتطايرة في المخلفات المائية.

٣. المخلفات غير المائية مثل للمذيئات العادمة الملوثة بملوثات غير متطايرة.

التجريد بالبخار لا يستخدم في إزالة الملوثات من المياه الجوفية نظراً لارتفاع التكلفة حيث التجريد بالهواء يكون مناسباً، ولكن التجريد بالبخار قد حقق نجاحات في إزالة الملوثات من المياه الجوفية المحتوية علي الكتيون، الكحولات والمذيئات الكلورة حتي ١٠٠٠ جزء في المليون. يمكن استخدام تجريد الهواء في معالجة مياه الصرف الصناعي، وخاصة حيث يمكن استعادة الملوثات العضوية لإعادة الاستخدام تركيزها لتحقيق كفاءة للتدمير في الموقع. أمثلة، تجريد الميثانول، التيربينتين، الفينولات والمركبات العضوية الكبريتية من مياه صرف صناعة الورق، وإزالة المواد ذات الغليان العالي مثل المبيدات، (الألدرين)، سوائل الانتقال الحراري (Biphenyl) من مياه صرف العمليات الصناعية.

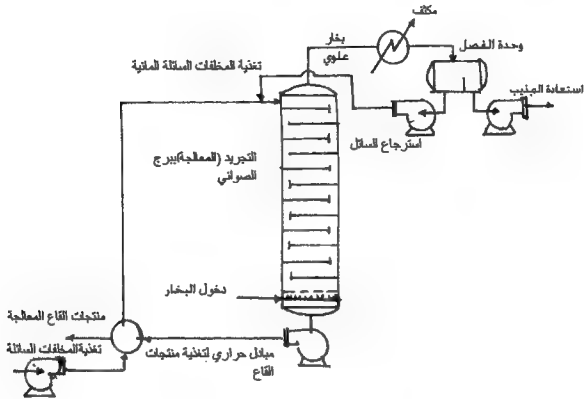
قيود خواص المخلفات:

المواد الصلبة العالقة يتم إزالتها من تدفق المخلفات قبل التجريد بالبخار لتجنب حدوث الترسبات من الملوثات العضوية علي الحشو أو الانسداد لأبراج الصوانية، التجريد بالبخار لا يكون مناسباً لمعالجة المخلفات المائية إذا كان التلوث العضوي غاز غير قابل للتكثيف مثل فينيل كلورايد الملوث الغازي يترك البرج مع الأبخرة ولكن لا تكن إسألته في المكثف. ولكن الغاز يتم صرفه في الهواء، بما يسبب مشكلة تلوث الهواء.

وصف العملية:

التجريد بالبخار هو عملية للتقطير الجزئي المستمر بدون تكرير. للشكل (١٣/٣) مخطط لعملية التجريد بالبخار، تدفق الغذاء يدخل قمة برج التحشية أو الصواني.

لا يوجد إعادة غليان (Reboiler)، ولكن البخار الحي يتم حقنه مباشرة عند قاع البرج. عند تجريد المخلفات الرطبة بالبخار فإن الناتج عند القاع يكون ماء نقي نسبياً. البخار العلوي يتكون من خليط من الأبخرة العضوية والبخار. يتم تكثيفه في مبادل حراري يعمل بتبريد الهواء ويجمع في حوض تجمع حيث يتم فصل المواد العضوية غير المذابة والمجال المائي بالجاذبية، المجال المائي المشبع بالملوثات العضوية يمكن جمعه مع التغذية وعودته إلي قمة وحدة التجريد للمجال العضوي يمكن استعادته لإعادة الاستخدام كمذيب أو كوقود، في حالة الملوث العضوي المذاب تماماً في الماء (مثل الأسيتون) فإنه لا يوجد فصل للمجالات. المنتج العلوي المكثف يكون محلول مائي مركز الذي يمكن معالجته بعد ذلك أو تكييره.



شكل (13/3) للمعالجة والتجريد بالبخار

اعتبارات التصميم:

المعدات المستخدمة في عملية التجريد بالبخار تشمل برج حشو أو صواني، غلاية أو مولد للبخار، مكثف يعمل بتبريد الماء، صلب المقطر من الماء إلى آخر (Distillate Decanter)، طلمبات، مواسير للتغذية .. إلخ. معظم وحدات التجريد بالبخار تعمل عند الضغط الجوي، ولكن العمل عند التفريغ يمكن استخدامه لخفض متطلبات البخار.

نظراً لأن التجريد بالبخار يعمل قريباً من درجة حرارة غليان الماء (١٠٠°م) فإن استخدام البلاستيك لا يكون مناسباً، المستخدم عادة هو الأبراج وما بداخلها من الصلب المقاوم. في حالة التحشية وليس الصواني فإن التحشية يمكن أن تكون من الصلب أو من السيراميك.

التجريد بالبخار هو عملية مستهلكة للطاقة. يمكن تحسين اقتصاديات العملية باستخدام تقنيات ترشيد الطاقة. استخدام منتجات القاع مع المبادل الحراري للتسخين المسبق لتدفق الغذاء، حيث يتم تبريد تلك المنتجات تمهيداً لسرفها، كذلك مصانع

الورق المستخدمة للتجريد بالبخار لإزالة الميثانول، النيربينتين، المركبات العضوية الكبريتية من المخلفات المائية تحقق خفض في الطاقة باستخدام البخار من المبخرات عديدة التأثير المتاحة كمائع للتجريد.

الأثر البيئي:

تجريد البخار ينتج تدفقات مناسبة للصرف علي الصرف الصحي أو المسطحات المائية، أو لإعادة الاستخدام في عمليات صناعية، طبيعة المقطر العلوي تتوقف علي خواص الإذابة للملوثات العضوية، إذا كانت المواد العضوية مذابة أو عالية الإذابة في الماء فإن المقطر يتم تركيزه في تدفق مائي والذي قد يتطلب معالجة تالية ولكنه مناسب للتكوير وإعادة الاستخدام. في مثل هذه الحالات، يمكن اعتبار التجريد بالبخار كتقنية طبيعية لخفض المخلفات أو للتركيز إلي حجم أصغر قابل للمعالجة بالطرق الكيماوية البيولوجية، الحرارية. إذا كان الملوث العضوي قليل الذوبان في الماء فإن التدفق العلوي المكثف يفصل بالجاذبية إلي المجالات العضوية والمائية.

مكثف التجريد بالبخار يتم صرفه في الجو والذي يكون له تأثير بيئي ضار في حالة تجريد مواد عضوية سامة غير قابلة للتكثيف مثل الفينيل كلورايد فإنه يلزم في تلك الحالات عمل إجراءات حماية للهواء من التلوث.

الفصل الرابع عشر

خفض التلوث والاستعادة

Waste Reduction And Recovery



١. مقدمة:

يتم دائماً إنتاج مواد مخلفات صلبة، سائلة أو غازية خلال صناعة أى منتج. بالإضافة إلي إحداث أخطار بيئية ، فإن تلك الملوثات تمثل فقداً لمواد ثمينة وطاقة من عملية الإنتاج وهذا يتطلب استثمارات كبيرة للتحكم في الملوثات، عادة، للتحكم في التلوث يتم عند نهاية الماسورة وخلف البار (Back door) and (End Of The Pipe) ونظام الإدارة هذا يتطلب إمكانيات بشرية وطاقة ومواد وتكلفة مالية. مثل هذا النظام يزيل الملوثات من مصدر واحد، مثل مياه الصرف، ولكن يتم وضعها في مكان آخر مثل الردم الأرضي. لذلك فإن أهمية خفض التلوث خلال العملية الصناعية أصبحت واضحة لكثير من الصناعات. وتم ذلك بالنظر نحو أهداف حماية البيئة وليس مقاومة التلوث فقط.

خفض الملوثات ليس مفهوماً جديداً ولكنه بدأ منذ بدء تصنيع المنتجات. لقد تطورت تقنيات خفض الملوثات، حيث أصبحت بالإمكان استخدامها لأى عملية صناعية بدءاً بصناعة الورق حتى الصناعات الحربية، التقنيات المتاحة التي تتراوح من تغييرات بسيطة في العمليات الصناعية إلي المعقدة تقع في أربعة أنواع كما هو موضح في الجدول (١٤/١).

جدول (١٤ / ١) أنواع تقنيات خفض الملوثات

الرقابة والتحكم في المواد
تطوير عملية الإنتاج
• طرق التشغيل والصيانة.
• استبدال الخامات والمواد.
• تطوير معدة الإنتاج.
خفض الحجم:
• الفصل من المنتج.
• التركيز.
الاستعادة:
• الاستعادة في الموقع.
• الاستعادة بعيداً عن الموقع.

تقنيات خفض الملوثات يتم استخدامها معاً وذلك لتحقيق أقصى تأثير بأقل تكلفة. اختيار تقنيات خفض معينة يجب أن يبنى على معلومات دقيقة نحو تدفق المخلفات وتكلفة إدارتها. يتم ذلك بعمل برنامج خفض الملوثات كمدخل لنظام إدارة المخلفات. مكونات برنامج خفض الملوثات تشمل طرق جمع المعلومات، تقييم البدائل. ومعرفة تكلفة تقنيات خفض التلوث. بعد التعرف، يمكن تنفيذ التقنيات لتصبح جزءاً من منظومة الإدارة والتشغيل.

عند تقييم بدائل خفض التلوث فإنه يجب أن يراعى التأثير على كل تدفقات المخلفات وليس الملوث المستهدف فقط. فمثلاً، عند التغيير من النظافة بالمذيب إلى النظافة بالماء للتخلص من إنتاج مخلفات خطره، فإنه يمكن بذلك زيادة الحمل العضوي لمياه الصرف. هذه الزيادة قد تكون إلى الحد الذي لا يمكنها من الصرف طبقاً للمعايير المقررة، حيث تتطلب معالجة مسبقة بما يزيد من التكاليف.

يجب مراعاة أن التقنية فقط سوف لا تقلل من المخلفات ولكن الأمر كله يعتمد على القائمين عليها، ولذلك فإن مستوي هؤلاء وإعدادهم يحقق نجاح برنامج خفض التلوث.

٢. إدارة الموجودات من المواد:

التحكم الجيد على المواد الخام، المواد الوسيطة، والمنتجات النهائية وتدفقات المخلفات المصاحب للإنتاج يعتبر التتبع الهامة لخفض التلوث. في كثير من الحالات، تكون المخلفات مجرد مواد خام التي أصبحت غير مناسبة للاستخدام أو ملوثة أو مخلفات من الانسكابات أو من المنتجات النهائية التالفة، تكلفة التخلص من تلك المواد لا تشمل فقط تكلفة التخلص ولكن تكلفة المادة الخام نفسها أو المنتج هذا فقد يشكل حملاً كبيراً على أى شركة.

قبل إنتاج أي منتج جديد، فإنه يلزم تقييم جيد للمواد والعمليات المستخدمة في الإنتاج، عندئذ فإن استخدام مواد خطره يمكن خفضه أو إبعاده قبل البدء في الإنتاج. مشكلة أخرى وهي طرق تداول المخلفات. للمخلفات يجب أن يتم تداولها وكذلك إدارتها مثل المنتج النهائي، إمكانية التلوث للمخلفات النظيفة أو المعاد استخدامها قد يقلل أو يبعد أى استعادة أو إعادة الاستعمال.

موضوع آخر، الخاص بالتحكم في المواد هو بشراء المواد بالكمية المناسبة وفي الوعاء المناسب. في حالة استخدام كميات كبيرة من المخلفات فإن الشراء بكميات كبيرة يقلل من إنتاج المخلفات في كل من الفقد من المنتج، والفوارغ. ولكن الحاويات الصغيرة قد تكون أفضل إذا كانت المادة لا تستخدم بكميات كبيرة، وأن عمرها قصير، بعض المواد يتم شراؤها في أوعية يتم استعادتها، بما يبعد وجود أوعية فارغة في المخلفات. في بعض الحالات، المواد الخام مثل مواد التلوين (Pigments)

والمبيدات (Biocides) يمكن تعيئتها في أكياس صغيرة مذابة بما يسمح للمادة والوعاء أن يتم استخدامهم في عملية الإنتاج.

التحكم في المادة: (Material Control)

التحكم في المادة يشمل حفظ وتخزين المادة الخام، المنتجات، المخلفات من العملية ونقل تلك المواد خلال العملية، طرق إحكام المادة المناسبة تضمن التداول الصحيح للمادة الخام واستخدامها في عملية الإنتاج والتي تصبح من المخلفات.

يمكن خفض الفقد في المادة خلال إجراء الأداء الجيد في عملية الإنتاج، زيادة الصيانة، وتدريب العمالة. كثيراً من التقنيات التي يمكن استخدامها لخفض الفقد في المادة سيتم مناقشتها طبقاً لطرق التشغيل والصيانة.

أ. تطوير عمليات الإنتاج:

تطوير كفاءة عملية الإنتاج يمكن أن يقلل كثيراً من إنتاج المخلفات عند المصدر. التقنيات المتاحة تتراوح ما بين الحد من التسرب ومنعه من معدات الإنتاج إلى تطوير معدة الإنتاج نفسها. تقنيات خفض التلوث تشمل تحسين طرق التشغيل والصيانة تغيير المواد المستخدمة في الإنتاج، تطوير المعدة المستخدمة أو شراء معدة بديلة.

ب. تطوير طرق التشغيل والصيانة:

إن تحسين طرق التشغيل هو من الطرق البسيطة والمهولة لتحقيق أفضل استخدام للمواد الخام في العملية الإنتاجية، مثلاً، للنظافة الجافة، وتحسين جمع وتداول المخلفات والتي أحدثت تغييرات في الآتي:

- خفض استخدامات المياه المستخدمة في النظافة بنسبة ٣٠%.
- عدم الحاجة إلى ملء للردم الأرضي بالمخلفات الصلبة.
- خفض الحمل العضوي في مياه الصرف بنسبة ٨٠%.

التحول إلى مواد أقل خطورة:

المواد الخطرة لما في تصنيع المنتج أو للإنتاج يمكن أن يتم استبدالها بمادة أقل خطورة أو بمادة غير خطرة، إعادة صيانة المنتج لاحتواء مواد أقل خطورة سوف يقلل من المخلفات الخطرة المنتجة في خلال صياغة المنتج وفي الاستخدام النهائي، المادة الأقل خطورة المستخدمة في عملية الإنتاج سوف يقلل من كمية المخلفات الخطرة المنتجة، بما يقلل من تكلفة معدات المعالجة اللازمة لمطابقة المعايير المقررة، بعض أمثلة تغييرات المادة موضح في الجدول (٢/ ١٤).

جدول (١٤/٢) أمثلة لخفض المخلفات من خلال تغيير المادة

الصناعة	تغيير المادة
النسيج	<ul style="list-style-type: none"> • خفض الفوسفور في مياه الصرف بخفض الكيماويات المحتوية على الفوسفور • استخدام الأشعة فوق البنفسجية بدلاً من المبيدات (Biocides) في أبراج التبريد. • استبدال نظام اللاصق ذو الأساس من المذيب بنظام الأساس المائي بنظام لا تكس لأكليريك. • إعادة استخدام مياه الشطف كماء تعويض لحمام التبييض الذي يقلل من الحمل العضوي في مياه الصرف.
الطلاء المعدني	<ul style="list-style-type: none"> • استبدال حوض السيانيد للطلاء المعدني بالكاديوم بدون السيانيد

تطوير أو تغيير المعدة:

يمكن خفض إنتاج للملوثات باستخدام معدة أكثر كفاءة أو بتطوير المعدة المستخدمة لتحسين تقنيات الإنتاج.

٣. خفض حجم المخلفات:

خفض الحجم يشمل تقنيات فصل المخلفات السامة، الخطره و/أو المخلفات القابلة للاستعادة من إجمالي تدفق المخلفات. التقنيات المتاحة تتراوح من مجرد فصل الملوثات عند المنبع إلى تقنيات التركيز المعقدة. تلك التقنيات يمكن تقسيمها إلى قسمين وهما: الفصل عند المنبع (Source Segregation) وتركيز الملوثات (Waste Concentration) .

فصل المخلفات عند المنبع:

فصل المخلفات في كثير من الحالات تعتبر تقنية بسيطة واقتصادية لخفض الملوثات. فمثلاً، عند فصل المخلفات عند مصدر إنتاجها وتداول كلا من المخلفات الخطره وغير الخطره كل علي حدة، فإن حجم المخلفات يقل وكذلك نقل تكلفة الإدارة وكذلك، فإن المخلفات غير الملوثة أو غير المخففة يحتمل إعادة استخدامها في عملية الإنتاج أو عمل إجراء استعادتها.

الفصل ينطبق علي العديد من المخلفات وعادة يشمل تغيرات بسيطة في طرق التشغيل. فمثلاً، في صناعة تشطيب للمعادن ، فإنه يمكن معالجة المخلفات التي تحتوي علي أنواع مختلفة من المعادن كل علي حدة بحيث يمكن استعادتها من الحمأة. المنبيات العادمة أو الزيت العادم الذي تم فصله من المخلفات الصلبة أو للسائلة الأخرى يمكن إعادة تكويره. إذا تم فصل مياه الصرف المحتوية علي معدن سام من مياه الاستخدام غير الملوثة فإن حجم المياه اللازم معالجتها يتم خفضه.

التقنية المستخدمة عادة لفصل المخلفات هي بجمع وتخزين مياه الصرف أو المنبيات المستخدمة في نظافة المعدة (مثل الخزانات ،المواسير، الطلمبات) لإعادة الاستخدام في عملية الإنتاج. هذه التقنية تستخدم بواسطة صناعات الأحبار، البويات، والكيماويات والصناعات المعدنية. فمثلاً، منشأة للطباعة تقصّل وتجمع التلوين المستخدم عمليات النظافة لاسطوانات الطباعة. بفصل التلوين المستخدم حسب نوع ملوث الحبر ولونه، فإنه يمكن إعادة استخدامه لتخفيف نفس نوع ولون الحبر.

تركيز المخلفات:

العديد من التقنيات تستخدم في خفض حجم المخلفات من خلال المعالجة الطبيعية، تلك التقنيات تزيل مكون من المخلفات مثل المياه. مثل، تقنيات التركيز المستخدمة عادة لإزالة المياه من حمأة مياه الصرف بنسبة ٩٠%. طرق التركيز المتاحة تشمل الترشيح بالجاذبية والتفريغ، التبخير، الترشيح الفائق والعالي، التناضح العكسي، الترشيح بالضغط (Filter Press) ، التجفيف بالحرارة، والدمج. في بعض الحالات التركيز لتفوق المخلفات قد يزيد من احتمال إعادة الاستخدام للمادة. فمثلاً، مجففات الترشيح بالضغط أو للحمأة يمكن أن تزيد تركيز المعادن في معالجة حمأة مياه صرف الطلاء المعدني.

٤. إستعادة المخلفات:

استعادة المخلفات عملية اقتصادية، حيث يمكن عملها في الموقع أو في موقع آخر، تقنيات استعادة المخلفات تساعد في تجنب التخلص من المخلفات، وخفض تكلفة المواد الخام، وإمكانية توفير دخل إضافي من بيع المخلفات. إستعادة المخلفات يتم اعتبارها فقط بعد كل بدائل خفض التلوث الأخرى. الاستخدام المؤثر للاستعادة يتوقف علي فصل الملوثات التي يمكن استعادتها من مخلفات العملية أو للمادة الغريبة، هذا الفصل يؤكد أن المخلفات ليست ملوثة وأن تركيز المادة القابلة للاستعادة عند أقصاه. إستعادة المخلفات يمكن أن تحدث في الموقع أو مكان آخر لديه الامكانيات التقنية.

الاستعادة في الموقع:

في معظم الحالات يكون أفضل مكان للاستعادة هو وحدة الإنتاج. يمكن استعادة المخلفات عند نقطة الإنتاج حيث احتمال التلوث بمادة مخلفات أخرى يقل، كما في حالة الأزمات عند التدلول والنقل لمواد المخلفات. المخلفات التي تكون نسخة ملوثة من المواد الخام المستخدمة في عملية الإنتاج يفضل تكويرها في الموقع. مثل تلك الاستعادة تمكن من خفض تكلفة شراء المواد الخام والتخلص من المخلفات.

بعض تدفقات المخلفات يمكن أن يتم توجيهها مباشرة إلي وحدة الإنتاج الأصلية كمادة خام. يتم ذلك عند التلوث القليل لمادة المخلفات. المخلفات ذات التلوث القليل يمكن أحياناً إعادة استخدامها في العمليات التي لا تتطلب مواد ذات نوعية أعلا. فمثلاً، المنذبات العادمة ذات النوعية الجيدة المنتجة خلال الصناعات الالكترونية يمكن إعادة استخدامها في عمليات إزالة الشحوم للمعادن الأقل حساسية، أو أن مادة المخلفات الكاوية يمكن إعادة استخدامها لمعالجة تدفقات المخلفات الحامضية.

بعض المخلفات قد تحتاج لبعض أنواع للتنقية قبل إعادة الاستخدام. تقنيات التنقية تتراوح من الترشيح البسيط إلي التبلر بالتجميد.

الاستعادة في موقع آخر:

يمكن استعادة المخلفات في موقع آخر عند عدم توفر المعدة اللازمة في الموقع، وفي حالة عدم توفر المخلفات للكافية لتكون عملية الاستعادة اقتصادية، أو في حالة عدم إمكان إعادة استخدام المادة في عملية الإنتاج.

المعالجة الطبيعية والكيميائية

الفصل الخامس عشر :

الترشيح والفصل

الفصل السادس عشر :

الترسيب الكيميائي

الفصل السابع عشر :

تكنولوجيا التجمد والتثبيت

الفصل الثامن عشر :

الأكسدة الكيميائية والاختزال

الفصل التاسع عشر :

التبخير خارج الغشاء

الفصل العشرون :

المعالجة بالأوزون

الفصل الحادي والعشرون :

التبخير

الفصل الخامس عشر

الترشيح والفصل

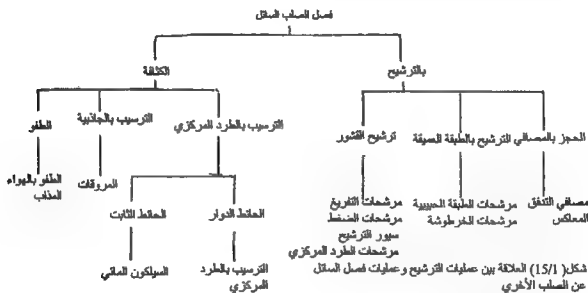
Filtration And Separation

15

١ مقدمة:

الترشيح هو طريقة لفصل الجسيمات الصلبة من السائل باستخدام وسط مسامي. القوة الدافعة في الترشيح هي التدرج في الضغط ، بسبب الجاذبية ، قوة الطرد المركزي، التفريغ، الضغط الأعلى من الضغط الجوي، في هذه الدراسة سيتم تناول الفصل للمواد الصلبة من الوسط السائل.

العلاقة بين الطرق المختلفة للترشيح وبين عمليات فصل الصلب عن السائل الآخر موضحة في الشكل (١٥/١).



- التطبيق التكنولوجي:

يقع استخدام الترشيح في معالجة المخلفات الخطره في طريقتين وهما:

* الترويق (Clarification): حيث جسيمات المواد للصلبة العالقة في تركيزات أقل من ١٠٠ جزء في المليون تتم إزالتها من التنقيف المائي. يتم ذلك عادة في الترشيح العميق أو الترشيح بالتنقيف المتقاطع. الهدف الرئيسي هو إنتاج منتج سائل رائق الذي يمكن إما صرفه أو إعادة استخدامه، المواد الصلبة العالقة يتم تركيزها في تحفقات

التخلص. سحب المياه من الحماة ذات ١ إلى ٢٠% مواد صلبة بالوزن. الغرض هو تركيز المواد الصلبة إلى عجينة أو الشكل الصلب للتخلص أو للمعالجة التالية. ويتم هذا عادة بواسطة الترشيح للقشور الصلبة (Cake- Filtration).

مخلفات خطرة محلوذة:

مثال ١: تعادل الأحماض القوية مع لبن الجير أو الحجر الجيري ، يلي ذلك الترسيب والتكثيف للرواسب المنتجة في شكل ردة . الردغة يمكن سحب المياه منها بترشيح القشور (Cake)، والسائل المنتج بعد الترسيب يمكن ترشيحه بالترشيح العميق قبل للصرف.

مثال ٢: ترسيب المعادن الثقيلة المذابة في شكل أيروكسيدات، كربونات، أو سلفيدات، يليه الترسيب والتكثيف. استخدامات الترشيح كما في المثال ١.

مثال ٣: معالجة مياه الصرف لزيوت و ذلك بتكسير المستحلب يليه الطفو بالهواء المذاب. يتم سحب المياه من لطافي قبل الحرق أو التخلص.

مثال ٤: تدمير المركبات العضوية السامة بالطرق البيولوجية مثل المعالجة بالحماة المنشطة يليها الهضم الهوائي أو اللاهوائي للحماة المنتجة. يتم سحب المياه من الحماة قبل الحرق.

المخلفات التي يتم إزالتها بالترشيح:

الترشيح لا يزيل المواد المذابة. التكتفات التي تحتوي علي مواد سامة عضوية كمثل لا يمكن معالجتها مباشرة بالترشيح.

عمليات الترشيح تتطلب تدفق المجال للسائل خلال الوسط المسامي الحماة أو القار بالمسامية العالية لايمكن من الترشيح.

لترشيح لا يتم للمخلفات الصلبة.

٢. وصف العملية:

أ. المبادئ الكيميائية والميكانيكية :

ترشيح العمق: Depth Filtration

في ترشيح العمق يتم دفع السائل المحتوي علي أقل من ١٠٠ جزء في المليون من المواد الصلبة العالقة خلال الوسط المسامي. العديد من القوي الكيميائية والميكانيكية تسبب اقتناص المواد الصلبة واحتجازها داخل الوسط، بينما يتدفق السائل

خلال الطبقة. يستخدم ترشيح العمق في مرشحات الوسط الحبيبي، وفي مرشحات المصافي مع التغطية المسبقة (Precoat) ومرشحات الخرطوشة التي يتم للتخلص منها.

ترشيح العمق عادة يكون ذو المرحلة الواحدة (Batch). مع ترسيب الحبيبات الصلبة في الوسط المسامي، فإن عدد وحجم المسام يقل بحيث أن الانخفاض في الضغط خلال الوسط يزداد كما أن عدد مواقع الحجز المتاحة يقل بحيث أنه في وقت ما لا يتم حجز جزء زائد من الجسيمات العالقة في الوسط ويحمل خلال المسائل المنصرف. دورة الترشيح تتوقف في حالة زيادة أي من الانخفاض في الضغط أو تركيز المواد الصلبة عن حدود معينة. الوسط للترشيح يجب عندئذ أن يتم استبداله أو نظافته.

ترشيح العمق يمكن أن يكون عملية مستمرة إذا تم نظافة الوسط الترشيحي باستمرار.

ترشيح القشور: Cake Filtration

في ترشيح القشور يتم حجز الجسيمات الصلبة على سطح الوسط المسامي عند تدفق المسائل خلال الوسط. تتراكم المواد الصلبة في شكل قشور مع زيادة السمك. لذلك فإن المواد الصلبة في ردة التغذية يتم حجزها على سطح القشور، عندئذ تصبح القشور هي الوسط الترشيحي. مع زيادة سمك طبقة القشور تزداد مقاومة التدفق. مع نهاية دورة الترشيح يمكن سحب المياه من القشور بالضغط الميكانيكي أو بالتجفيف الهوائي. كذلك يمكن غسل القشور بالماء النظيف أو بالمذيب قبل أو بعد عملية سحب المياه (Dewatering) لإزالة المسائل الأصلي. عندئذ يتم إزالة القشور من الوسط الترشيحي، وغسل الوسط للترشيح أو إعادة استخدامه.

معظم القشور المنتجة من ردغات مياه الصرف العادمة تكون قابلة للإنضغاط، بحيث أن معدل الترشيح لا يتناسب مع فرق الضغط المستخدم، زيادة الضغط سوف تزيد من الضغط للقشور وتزيد من مقاومة التدفق.

في حالة القشور ذات الانضغاط العالي، فإن القشور يمكن أن تكون طبقة جليدية كثيفة عند التقابل مع مجال الترشيح بحيث أن معدل الترشيح يصبح غير متأثر بالضغط المستخدم. الجسيمات الصغيرة في الحماة قد لا يتم حجزها على سطح القشور. ولكن يمكن أن تترسب خلال طبقة القشور أو الوسط للترشيح (كما في حالة الترشيح بالعمق). الزيادة في مقاومة التدفق مع الوقت تكون عندئذ أكبر من تلك بسبب تراكم القشور فقط.

الترشيح بالتدفق المتقاطع:

التصميم المناسب للترشيح بالتدفق المتقاطع هو الأنبوب المسامي. يتم إعادة تدوير العالق عند سرعة عالية خلال الأنبوب بواسطة مضخة وتركيزه مع تدفقات سائل الترشيح خلال الوسط المسامي. التدفق المضطرب يمنع تكوين قشور الترشيح والتي بخلاف ذلك سوف تقلل معدل تدفق سائل الترشيح. في العمل المستمر جزء صغير من التدفق المعاد تكميره الذي يسمى المنبؤ (Reject)، يتم استنزافه لاستمرار ثبات تركيز المواد الصلبة مع إدخال التغذية بمياه الصرف إلى حلقة إعادة التدوير. الترشيح بالتدفق المتقاطع يكون مؤثراً في ترويق العالق للمحتوي علي أقل من ٠,٥% من المواد الصلبة العالقة.

وصف العملية:

مرشحات طبقة الحبيبات: Granular Bed Filters

الترشيح بالعمق لمياه الصرف الصناعي يتم عادة في مرشحات ذات للوسط الحبيبي، للمرشحات تتكون من حوض، مزود بالصرف السفلي المغطي بواسطة مصبوعة (Grid) مسامية التي تحمل طبقة المواد الحبيبية ذات عمق من ١-٢ متر (٣-٦ قدم). هذه الطبقة يمكن أن تكون من مادة واحدة (الطبقة المتجانسة) أو أن تتكون من طبقات من مواد مختلفة (طبقة مركبة). فوق الطبقة يوجد مصدر توزيع التغذية والذي يقوم بالتغذية المتجانسة لمياه الصرف أعلا الطبقة بمعدل من ٠,٨ إلى ٠,٤ م^٣ (م. دقيقة) (٢-١٠ جالون/الدقيقة. قدم مربع). قمة الحوض قد تكون مفتوحة إذا كانت الجاذبية هي القوة الدافعة، أو قد تكون مغلقة في حالة ضغط سائل التغذية.

أثناء دورة الترشيح، يمكن غسيل السطح العلوي للوسط الترشيحي بواسطة نافورة ماء ذات ضغط مرتفع لمنع المواد الصلبة المحتجزة من التكتل إلى كرات الطين (Mud Balls) والتي سوف تعمل علي زيادة مقاومة التدفق. مع نهاية دورة الترشيح فإنه يجب أن تتم نظافة الطبقة. الطريقة العادية هي بتقليب الطبقة بالهواء لإحداث تفكك للحبيبات المحتجزة ثم الغسيل العكسي بالماء لدفق المواد الصلبة خارج الطبقة. إجمالى حجم الغسيل العكسي يكون من ١-٥% من حجم مياه الصرف المعالج بواسطة دورة الترشيح. معدلات الغسيل بالهواء هي من ٠,٩ إلى ٢,٤ متر مكعب/(م^٣-الدقيقة) (٣ إلى ٨ قدم مكعب/دقيقة. قدم مربع) لمدة ٣-٥ دقيقة.

الغسيل العكسي سوف يقسم الوسط الترشيحي للطبقة طبقاً للحجم والكثافة. في الطبقة المتعددة، يجب أن تكون طبقات الوسط ذات تدرج أصغر في حجم الحبيبات مع

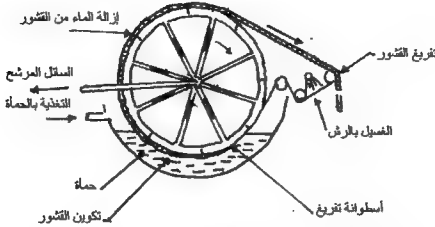
اتجاه التدفق لمنع حدوث الطبقات (Stratification) كثافة كل طبقة يجب أن تكون أعلا من تلك أعلاها. التجميع العادي هو فحم الأنثرايثت الخشن فوق طبقة للرمال. في حالة الطبقة من ثلاث أنواع فإن الطبقة السفلي تكون من حبيبات العقيق الأحمر الدقيقة (Garnet) حجم الحبيبات النموذجي هو ٢,٢ ملليمتر للأنثرايثت، ٠,٤ إلى ١,٤ ملليمتر للرمال، ٠,٣ ملليمتر للعقيق الأحمر.

للحصول علي العمل المستمر مع مرشحات الوسط الحبيبي التي تعمل بطريقة الدفعات كما سبق شرحه، فإنه يجب إقامة أكثر من مرشح واحد علي التوازي، بحيث أنه يكون واحد في العمل والآخر في الغسيل العكسي.

أحد التصميمات لمرشح الوسط الحبيبي يمكنه من العمل بطريقة مستمرة. تدفقات التغذية بمياه الصرف تكون إلي أعلا خلال طبقة للرمال والتي تكون بعمق واحد متر (٤٠ بوصة). طبقة للرمال عند القاع تتم إزالتها باستمرار بواسطة هواء الرفع، المواد الصلبة التي تم فصلها وغسلها بالهواء يتم إعادة وضعها علي قمة طبقة الترشيح. الطبقة تكون عندئذ نظيفة باستمرار.

مرشحات حزام التفريغ الدوار (Rotary Vacuum Beltfilters):

الترشيح بالتفريغ الدوار هي الطريقة الأكثر استخداماً لإزالة المياه من الحمأة بطريقة ميكانيكية. في طريقة مرشح الحزام أو السير، يكون الوسط الترشيحي عبارة عن سير مستمر من النسيج والذي يلتف حول أسطوانة أفقية دوارة وعدد من أسطوانات الدحرجة (Rollers) الشكل رقم (١٥/٢). الاسطوانة تكون مغمورة جزئياً في حوض ضحل لمادة الردغة (الحاملة للمخلفات). محيط الاسطوانة يكون منقباً ومقسماً إلي مقاطع ضحلة في شكل الصانبة مغطاة بواسطة مصبغات التي تحمل سير الترشيح. يتم التوصيل لكل مقطع إلي مصدر التفريغ بواسطة محبس نو فتحات متعددة. يتم استخدام التفريغ لكل مقطع عند غمره في الردغة. يتدفق سائل الترشيح في الصواني ويتوجه نحو مواسير داخلية إلي حوض الاستقبال.



شكل (15/2) مقطع في مرشح السير بالاسطوانة للدوارة

يتم تكوين القشور مع دوران المقطع خلال الردغة. المقطع يخرج من الردغة ويتم سحب المياه من القشور بواسطة التفريغ، الهواء يدخل القشور مع سحب السائل المتبقي نحو المستقبل، يتم عندئذ تحرير الضغط مع دفع السير بعيداً عن الاسطوانة وفوق اسطوانة الدحرجة (Roller)، حيث للطرف الحاد في الانحناء يسبب التخلص للقشور. السير يتم غسله بالرش قبل إعادة غمره في حوض الردغة.

مرشح التفريغ بالسير الدوار يكون مؤثراً في إزالة المياه من الحماة التي يمكن أن تكون قشور كثيفة وجافة كافية لصرفها بواسطة الدحرج. ميزه طريقة الترشيح هذه هي أنها عملية مستمرة والتي تتطلب القليل من انتباه العامل. المميزات هي أن أقصى فرق في الضغط يكون محدوداً بواسطة التفريغ، بحيث أن الحماة الرقيقة الجيلاتينية لا يمكن سحب المياه منها، وأن استهلاك الطاقة بواسطة طلمبة التفريغ يكون مرتفعاً نسبياً.

مرشحات التفريغ الدوار بالتغطية المسبقة: Rotary Vacuum Precoat Filters

وسط الترشيح النسيجي في هذا النظام لمرشح التفريغ الدوار يغطي كل وجه الاسطوانة. قبل دورة الترشيح، يتم ملئ حوض الردغة بواسطة للعالق (Suspension) بواسطة مادة التغطية المسبقة مثل مادة الدياتوم الأرضي (Diatomaceous Earth). يتم استخدام التفريغ بحيث يتم تكوين طبقة من التغطية المسبقة بسمك حتى ٠,١٥ متر (٦ بوصة) على الاسطوانة. عالق التغطية المسبقة يتم عندئذ استبداله بواسطة ردة التغذية (الحاملة للملوثات). يستمر الترشيح وإزالة المياه كما سبق شرحه باستثناء أنه في مرحلة إزالة المياه تتم إزالة القشور بواسطة سكين مكشطة. يتم وضع السكينة

بحيث أنه يتم إزالة سمك من ٠.٠٨ إلى ٠.٨ ملمتر (٠.٣-٠.٠٠٣ بوصة) من مادة التغطية المسبقة كل دورة للأسطوانة مع طول القشور. التغطية المسبقة تقوم بعدة أغراض، فهي تعمل كوسط ترشيح للذي يحتجز الجسيمات الكبيرة بواسطة ترشيح القشور والجسيمات الصغيرة بالترشيح العميق، ووجودها يسمح بالإزالة الكاملة للقشور حيث يتم إزالة جزء من التغطية المسبقة كذلك. هذا بالإضافة إلى أن الغطاء المسبق الطازج يكون معرضاً مع إعادة دخول قطاع الترشيح لحوض الردغة.

مميزات وعيوب مرشح التفريغ بالغطاء المسبق تشبه لتلك للمرشح المسير بالتفريغ باستثناء أنه، بسبب التغطية المسبقة، فإن الأول يمكنه ترويق وإزالة المياه من الحماة التي تحتوي جسيمات دقيقة (Fines) والتي لذلك تكون قشور دقيقة هشّة، أحد السلبات للمرشح في أنه يلزم مدة من الوقت حتى ساعة لوضع الطبقة المسبقة، لذلك فإن عملها ليس مستمراً بشكل حقيقي.

مرشحات التفريغ الأخرى:

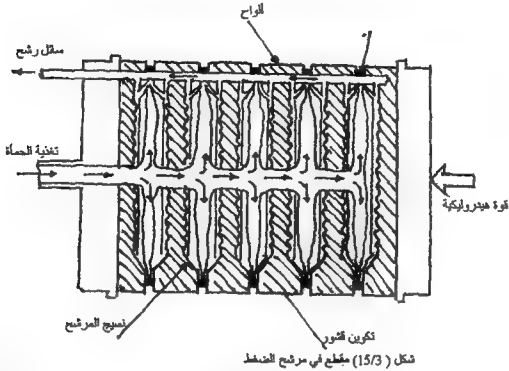
• مرشح لفات الأسطوانة النوار : Rotary Drum Coil Filter

يشبه مرشح الحزام (السير) عدا أن الوسط الترشيحي يتكون من طبقتين من لفات المعدن. وهو مناسب في إزالة المياه من الحماة التي تكون في شكل شعيرات أو يمكن أن تتحول إلى نثقات (Flocculated). نوعية سائل المرشح تكون فقيرة، حيث تحتوي على ما بين ٥٠٠ إلى ٢٠٠٠ ملجرام/لتر من المواد الصلبة العالقة .

• مرشح قرص التفريغ (Vacuum Disk Filter) يتكون من مصبغات (Grids) في شكل قرص مفطى على الجانبين بواسطة نميج الترشيح ومركب على محور أفقي. الأقراص تدور خلال حوض حمأة التغذية، ويتم تكوين القشور وسحب المياه كما في حالة مرشحات الأسطوانة الدوارة. يتم صرف القشور بواسطة المقشطة. الميزة في مرشح القرص في أنه يمكن توفير مساحة ترشيح ضخمة في المساحة الفراغية المتاحة.

مرشح الضغط : Filter Press

مرشحات الضغط المستخدمة في إزالة المياه من الحماة هي غالباً من نوع اللوح المجوف (Recessed Plate Type). يتكون الضغط من عدد من الألواح منظملة ومرصوصة إما أفقياً أو رأسياً. مرشح الضغط الأفقي موضح في الشكل (١٥/٣).



كل لوح له تجويف على كل جانب والذي يكون مبطناً بواسطة نسيج الترشيح. سطح مساحة التجويف يكون مموجاً أو محزراً ليسمح بحرية الصرف للسائل المنصرف خلال الوسط الترشيحي إلى أوعية الاستقبال. خلال دورة الترشيح، يتم ضغط الألواح معاً إما بالطريقة الهيدروليكية أو الميكانيكية ويتم ضخ حمأة شحنة التغذية إلى غرف الترشيح المشكلة بالألواح. يستمر ترشيح القشور على الوسط النسيجي حتى تمام امتلاء كل الغرفة بواسطة القشور. يتم ضخ الزائد من ردغة التغذية نحو الغرف لإزالة الماء من القشور وذلك باستبدال الماء بالمواد الصلبة للحماة. يحدث التجمد أو التصلب (Consolidation) للقشور في كلا الاتجاهين العمودي على الوسط الترشيحي والموازي للوسط الترشيحي نحو أطراف اللوح. مع نهاية سحب المياه من الحماة يتم تحرير الضغط الذي يمسك بالألواح معاً وتتفصل الألواح عن بعضها. المثالي، تكون القشور في كل غرفة جافة بما يكفي أن يتم سقوطها بحرية في القادوس أسفل الضاغط. يتم عندئذ غسل نسيج الترشيح ونقل الضاغط للدورة التالية.

ردغة التغذية يتم عادة ضغطها بواسطة طلمبات الإزاحة الموجبة مثل طلمبات المنفاخ (Diaphragm) إلى ضغط يصل إلى ١٥٥٠ كيلو بيار (٢٢٥ رطل/البوصة المربعة). لمنع حدوث الضغط قبل الأوان (Premature Compression) للقشور وما ينتج عنه خفض في نفاذية القشور، فإن ضغط التغذية يمكن زيادته على مراحل. خلال الجزء الأول من الدورة، عندما يكون سمك القشور صغيراً والنفاذية مرتفعة يستخدم

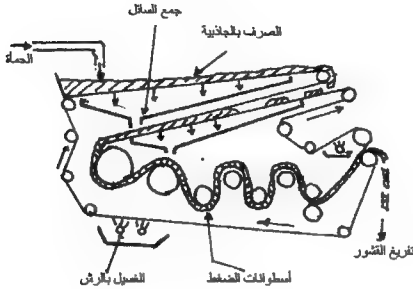
ضبط تغذية منخفض. مع زيادة سمك القشور وانخفاض النفاذية، تتم زيادة الضغط. أخيراً يتم استخدام أقصى ضغط خلال مرحلة سحب المياه لضغط القشور. أقصى ضغط نموذجي هو ٦٩٠ كيلو بار (١٠٠ رطل/البوصة المربعة)، رغم أنه يمكن زيادة الضغط إلى ١٥٥٠ كيلو بار (٢٢٥ رطل/البوصة المربعة). لزيادة سحب المياه من القشور يمكن إقامة حجاب غير مسامي بين نسيج المرشح واللوح. يتم تحرير الهواء المضغوط إلى الفراغ بين الحجاب واللوح وذلك للضغط الميكانيكي وإزالة المياه من القشور.

ميزة مرشح الضغط في معظم استخدامات الحماة في أنه ينتج القشور الأكثر جفافاً من بين كل تجهيزات إزالة المياه.

العيب في أنه يجب أن يعمل بطريقة مرحلية وليس باستمرار وأن الضغط يحتاج إلى عمالة ماهرة.

مرشح ضغوط السير: Belt Filter Presses

مرشح ضغط السير هي تجهيزه لإزالة المياه من الحماة التي يجتمع تكوين القشور بفعل الجاذبية مع إزالة المياه من القشور بالضغط الميكانيكي بين سيرين متحركين من النسيج. مرشحات السير استخدمت لإزالة المياه من الحماة من عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف. معظم مرشحات السير تشمل غرفة ترغيب وتنديف (Flocculation) حيث يتم إضافة البوليمر إلى حماة التغذية لإلتصاق الجسيمات. الترغيب الجيد للحماة يعتبر هاماً لخلق مواد صلبة التي تتم الإزالة السريعة للمياه منها بفعل الجاذبية وتكوين القشور ذو القوة الميكانيكية الكافية ليتمكن ضغطه بدون نتوءة وخروجه من السير. تتم تغذية الحماة أعلا قمة أول سير متحرك شكل (١٥/٤)، حيث يتم تكثيفها مع ترشيح المسائل خلال السير. عندئذ يعمل السير تحويله حادة على الدحروج (Roller) ويتم صرف الحماة إلى الحزام المتحرك الثاني، عندئذ يتقدم كلا الحزامين أو السيرين ويقتربا ببطء لإحداث الضغط المكون للقشور وبدء قسم إزالة المياه للعملية. يجب إزالة الماء الكافي في تلك الخطوة ذات الضغط المنخفض لإزالة المياه لخلق قشور الحماة والتي تكون قوية بما يكفي لعدم ضغطها إلى الخارج بين السيور. قشور الرذغة يتم تعرضها إلى ضغط ميكانيكي أعلا بالتوالي وذلك يعمل كلا السيرين معاً تحت الشد فوق أسطوانات الدحرجة الصغيرة. للتغيرات المتكررة في انحناء السير تعمل علي تكسير القشور بما يساعد علي إزالة المياه. خطوة الضغط الأخيرة باستخدام مجموعة من أسطوانة الضغط الهيدروليكي يمكن استخدامها قبل تباعد السيور وتصريف القشور. السيور عندئذ يتم غسلها وإعادة استقامتها قبل العودة إلى الخطوة الأولى.



شكل (15/4) مضطرب لسير الترشيح بالضغط

ميزة مرشح ضغط السير هي أنه يسمح بالعمل المستمر باستخدام عمالة قليلة نسبياً وكذلك متطلبات الطاقة القليلة. كما ينتج قشوراً ذات محتوى صلب في المتوسط ما بين تلك من مرشح الضغط ومرشح التفريغ. السليبيات هي أن نوعية السائل المرشح تكون متدنية (ما بين من ٢٠٠ إلى ٥٠٠ جزء في المليون في مرحلة الجاذبية حتي ٥٠٠ إلى ٢٠٠٠ جزء في المليون في مرحلة الضغط العالي). وأن معدل مياه الغسيل للسير يمكن أن تصل إلي ٧٠ إلى ١٠٠% من معدل التغذية بالحماة. النتيجة هي أن مجموع سوائل الترشيح وتدفقات الغسيل العكسي ذات معدل تنفق من ٨٥ إلى ١١٠% من شحنة التغذية يجب إعادة معالجتها لإزالة المواد الصلبة العالقة.

اعتبارات التصميم:

قيود التصميم:

اختيار معدة الترشيح لاستخدام معين يجب أن يأخذ الآتي في الاعتبار:

١. معدل التدفق، المكونات، درجة الحرارة، وخواص التدفق للمخلفات المطلوب ترشيحها.
٢. الغرض من الترشيح مثل:
 - لإزالة المواد الصلبة العالقة والحصول علي سائل مرشح رائق.
 - تركيز عالق مخفف إلي شكل الردغة كخطوة لإزالة المياه بعد ذلك.

٣. عدد ساعات التشغيل في اليوم للمرشح، ومدى إمكانية الحجم المحبوز في حالة التوقف للإصلاح أو الصيانة.

٤. وفرة الفضاء، الكيماويات، مساعدات الترشيح، والمهمات المساعدة.

٥. العوامل الاقتصادية.

الإمكانات والقدرات:

طاقة تجهيزة الترشيح تعتمد علي خواص المادة المطلوب ترشيحها، والوسط الترشيحي، ونوع وحجم المعدة، وظروف التشغيل. الجدول (١٥ / ١) يبين الخطوط الارشادية لامكانيات وقدرات المرشحات النموذجية بالنسبة للمحتوى من المواد الصلبة الذي يتم الحصول عليه في معدة إزالة المياه، يجب معرفة الخواص الحقيقية للقشور (cake) المطلوبة للاستعادة أو التخلص، فمثلاً ، بعض أنواع الحمأة يمكن أن يكون متماسك وصلب ويمكن تداوله عند نسبة تركيز ٢٠% للمواد الصلبة، بينما أنواع أخرى تظل تنتفخ عند نسبة ٥٠% مواد صلبة، ويمكن أن يسيل وتخف لزوجته بالرج (Thixotropic)، الإمكانات المعطاة هي للمعدة القياسية، بالنسبة لحالات العمل ١٦ ساعة في اليوم أو أكثر، فإنه يلزم استخدام وحدتين أو أكثر.

طرق التصميم:

عملياً، تصميم وتقدير طاقة تجهيزات الترشيح مازال يعتمد علي الخبرة السابقة، و/أو الدراسات الريادية، سيتم وصف معدة تم اختيارها ريادةً لمختلف أنواع المرشحات.

مرشحات العمق الحبيبي:

وهي عادةً عامود اسطواني، تأثيرات الحائط يمكن إهمالها فيما إذا كانت نسبة قطر العامود إلي حجم الحبيبات يزيد عن ٥٠.

الاختبارات الريادية توفر لفقد في الضغط ونوعية المسائل المرشح كدلالة لخصائص مياه الصرف، أنواع الوسط، الحجم والعمق سرعة المتدفق، تقنيات الغسيل العكسي والنظافة بالهواء يمكن اختيارها .

• مرشحات التفريغ الدوارة: Rotary Vacuum Filters

الاختبار يتطلب صفحة اختبار Test Leaf ، التي هي في شكل قرص الذي يمثل سطح مرشح التفريغ بالاسطوانة الدوارة.

المساحة السطحية للصفحة هي ٠,٠١ متر مربع (٠,١ قدم مربع). دورة الترشيح الكاملة يمكن تمثيلها بواسطة الصفحة، تأثيرات معايير التشغيل (مثل الوسط الترشيحي،

مستوي التفريغ ، تكون القشور، أزمنة إزالة الماء) علي معدلات الترشيح وإنتاجية القشور يمكن بحثها باستخدام عينات من حمأة مياه الصرف.

عمل الاختبارات الريانية توفر بيانات دقيقة التي تأخذ في الاعتبار ظروف الاستخدام الحقيقية مثل التغيرات في مكونات شحنة التغذية، مرشح الاسطوانة النموذجي الريادي يكون بقطر ٠,٩ متر وعرض ٠,٣ متر (٣ قدم في اقدم).

• مرشح الضغط:

مرشحات للضغط علي المستوي المعمل والريادي متاحة تجارياً. النموذجي ٢٠ لتر (٥ جالون) من عينة الحمأة تكون لازمة للاختبار، معايير الاختبار تتضمن الاعداد المسيق الحمأة، الوسط الترشيحي ومساعدات الترشيح، ضغط التشغيل.

تقدير حجم جهاز الضغط طبقاً لآمن الدورة والمحتوي من المواد الصلبة وكثافة القشور.

جدول (١٥ / ١) الامكانيات والقدرات للمرشح

البيان	مرشحات التفريغ بالاسطوانة الدوارة	مرشحات ضغوط السير	مرشحات الضغط	مرشحات طبقة الحبيبات
١	٢	٣	٤	٥
الأبعاد	٧٠-١ م ^٢ (١٠-٧٥ متر مربع)	٢-١ متر عرض السير ٣,٣-٦,٣ قدم	١٦-٠,٢ م ^٢ ٥٦-٠,٧ قدم مربع	١٠,٥-٠,٢ م ^٢ ١١٥ قدم مربع
نسبة الصلبة في الشحنة	٥-٢	٨-٢	-	-
نسبة الصلبة في القشور التحميل	٢٠-١٥ ٣٠-١٠ كجرام (م ^٢ . ساعة)	٢٥-١٥ ٢٥٠-١٩٠ كجرام (م ^٢ . ساعة)	٤٠-٢٨ -	٠,٤٩-٠,١٢ م ^٢ (دقيقة)
زمن الدورة ساعة	-	-	٢,٤	-
المواد الصلبة في السائل	-	-	-	٤٠-٢٠
المواد الصلبة في السائل المرشح	-	-	-	٢٠-٢
• المواد الصلبة مفجرام/لتر				

مواد الإنشاء:

معدل الترشيح متاحة بمختلف أنواع المواد. الأسطح المبللة تحديداً، مثل الاسطوانة (Drum) في مرشح السير النوار بالتفريغ، يمكن أن يصنع من مادة مقاومة للتآكل مثل الصلب المقاوم والبلستيك المقوي بالصوف الزجاجي. زاد استخدام ألواح البولي برويلين في مرشحات الضغط في استخدامات مياه للصرف.

نسيج الترشيح متاح، اختيار الوسط الترشيحي من النسيج يكون عادة مبنياً علي الخبرة والاختبارات. اعتبارات الاختيار تشمل.

- التوافق مع المخلفات المطلوب ترشيحها.
- النفاذية للسائل.
- القدرة علي احتجاز المواد الصلبة وإنتاج سائل رائق.
- السهولة نحو للصرف للقشور.
- العمر المتوقع وتكاليف الاستبدال.

التأثيرات البيئية ذات أهمية وتلك تشمل الإشعاع الشمسي، سقوط الأمطار، الرياح، الغبار، التجمد.

العلاقة بعمليات أخرى:

في استخدامات المخلفات الخطره، يكون الترشيح عادة خطوة فقط في نظام تكاملي لمعالجة المخلفات. كمثال نظام النظافة لبركة مياه الصرف قد تتكون من الخطوات الآتية:

١. للمصافي للخشنة.
٢. التجريد الهوائي أو البخار لإزالة المواد العضوية.
٣. الاختزال أو الأكسدة الكيماوية، ثم ضبط الرقم الهيدروجيني (pH) لترسيب المعادن الثقيلة المذابة.
٤. الترغيب والترويب بجسيمات المواد الصلبة للعالقة.
٥. الفصل بالكثافة مثل الترسيب أو الطفو بالهواء المذاب لتركيز المواد الصلبو العالقة في شكل حماة.
٦. ترشيح المياه المنتجة من عمليات الفصل السابقة لإزالة المواد الصلبة المتبقية (مرشحات الوسط الحبيبي، مرشحات التغطية المسبقة، مرشحات التدفق المتقاطع، يليه الامصاص بالكربون المنشط لإزالة المتبقي من المواد العضوية قبل للتخلص.

٧. إزالة المياه من الحماة من الخطوة رقم (٥) إلى القشور الجافة بما يكفي للثبات الكيماوي والتخلص. إضافة عوامل الترويب ومساعدات الترويب مثل إزالة المياه عند الضرورة.

٨. إعادة للتوير للعادم من الخطوة (٦) والمسائل المرشح من الخطوة (٧) ثانياً إلى الخطوة (٤).
التأثيرات البيئية:

الهواء والماء:

انبعاثات الهواء من عمليات الترشيح المعرضة للهواء يمكن أن يحدث إذا كان هناك مكونات متطايرة في مياه الصرف أو الحماة. المواد العضوية المتطايرة ، كمثال، قد تنفصل من سائل الترشيح في مستقبل مرشح التفريغ وصرفها في الجو، تعرض العمال إلى الغازات الخطرة يجب أن يراعي عند اختيار عملية الترشيح. معظم عمليات الترشيح تنتج سائل عادم الذي يجب إعادة معالجته عادة بالتوير إلى خطوات المعالجة المسبقة قبل خطوة الترشيح أو بخطوة الترشيح النهائية.

احتمالات إعادة التوير:

سائل الترشيح من مرشحات الوسط الحبيبي، مرشحات التفريغ بالغطاء المسبق (Precoat Vacuum) ومرشحات التنفق المتقاطع يمكن أن يكون نظيفاً بما يكفي لإعادة تويره للاستخدام في وحدة معالجة مياه الصرف كميات للرش لمقاومة الغبار أو الشحن الجوفي للخران الجوفي الملوث.

المعادن في قشور الترشيح من عمليات سحب المياه يمكن استعادتها بطريقة اقتصادية طبقاً لمكونات القشور. طرق الاستعادة تتوقف على هضم الحامض (Acid Digestion)، التنقية الكهروكيميائية، لفصل الكهرومغناطيسي، وعمليات أخرى.

الترسيب الكيميائي

16

١. مقدمة:

الترسيب الكيميائي هو العملية التي يتم بها تحويل المادة المذابة إلى الشكل غير المذاب إما بالتفاعل الكيميائي أو بالتغيرات في مكونات المذيب لخفض إذابة المادة فيه. عندئذ يمكن إزالة المواد الصلبة المرسبة بالترسيب و/أو الترشيح. للترسيب يستخدم عادة لخفض العشر للماء بإزالة الكالسيوم والمغنيسيوم. في معالجة المخلفات الخطرة، تكون العملية مجال كبير للاستخدام لإزالة المعادن السامة من المخلفات المائية.

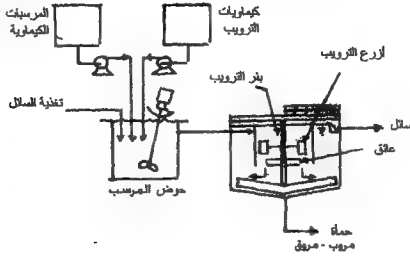
مجال التطبيق للمخلفات الخطرة:

يمكن استخدام الترسيب الكيميائي لمعالجة المخلفات الخطرة المائية المحتوية على مكونات سامة التي يمكن تحويلها إلى الشكل غير المذاب، وهذا يشمل المخلفات المحتوية على معادن الزرنيخ، الباريوم، الكاديوم، الكروم، النحاس، الرصاص، الزئبق، النيكل، السيلينيوم، الفضة، الثاليوم، الزنك.

للمخلفات الخطرة الأخرى التي تحتوي عادة على المعادن التي تزال بالترسيب هي مخلفات معالجة أسطح المعادن (Spent Pickle) في صناعات الحديد والصلب. الصناعات التي تعتبر مصدرًا للمخلفات المحتوية على المعادن هي صناعة الطلاء الكهربائي والنشط، مواد التلوين غير العضوية (Pigments)، وصناعة الإلكترونيات. المخلفات الخطرة المحتوية على معادن تنتج كذلك من نظافة أماكن المخلفات الخطرة.

٢. وصف العملية:

عملية الترسيب الكيميائي لإزالة المعادن الثقيلة يتم تنفيذها طبقاً للموضح في الشكل (١٦/١). يتم إضافة المادة الكيماوية المرسبة إلى المخلفات المائية المحتوية على المعادن في وعاء التفاعل المجهز بقلاب، تتحول المعادن المذابة إلى الشكل غير المذاب بالتفاعل الكيميائي بين مركبات المعدن للمذاب والمرسب. المواد الصلبة العالقة المنتجة يتم فصلها بالترسيب في مروق. يمكن استخدام الترغيب باستخدام مساعدات الترويب والترسيب للمساعدة في إزالة المواد الصلبة العالقة.

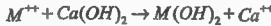


شكل (16/1) الترسيب الكيميائي

لقد أثبتت طرق الترسيب الكيميائي العديدة القدرة علي إزالة المعادن الثقيلة من محاليل المخلفات. الطريقة الأكثر استخداماً هي ترسيب الأيدروكسيد باستخدام الجير المطفي. معظم المعادن يمكن كذلك ترسيبها في شكل أملاح السلفيدات (Sulfides)، ومعادن معينة أخرى في شكل كربونات صوديوم بوروهيدريد (Sodium Borohydride)، عامل الإختزال الذي يمكنه لاختزال وترسيب المعادن في شكل العناصر المعدنية. سيتم وصف عمليات الترسيب هذه.

أ. ترسيب الأيدروكسيد:

يشمل ترسيب الأيدروكسيد استخدام أيدروكسيد الكالسيوم $(Ca(OH)_2)$ والذي يسمى لسبن الجير أو الصودا الكاوية كمادة ترسيب لإزالة المعادن في شكل أيدروكسيد المعدن غير المذاب. التفاعل موضح بالمعادلة التالية لترسيب معدن ثنائي التكافؤ باستخدام لبن الجير.



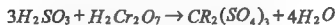
مستويات السائل المرشح بعد الترسيب بالإيدروكسيد تتوقف علي المعادن الموجودة، مادة الترسيب المستخدمة، وظروف التفاعل، وخاصة الرقم الهيدروجيني (pH)، ووجود مواد أخرى والتي يمكن أن تعيق الترسيب. يمكن الحصول علي تركيزات للمعدن في السائل بعد الترشيح بتركيز أقل من ١ ملجرام/لتر وأحياناً أقل من ٠,١ ملجرام/لتر، بما يقترب من الإذابات النظرية.

الإذابات النظرية للعديد من أيدروكسيدات المعدن الموضحة في الشكل (١٦/٢) كما هو مبين بواسطة منحنيات الإذابة، أيدروكسيدات المعدن تكون ذات أيونات ثنائية الشحنة (Amphoteric) أي أنها تزداد في الإذابة عند كل من الرقم الهيدروجيني (pH) العالي والمنخفض، ونقطة أدنى إذابة (أفضل pH للترسيب) تحدث عند قيم (pH) مختلفة لكل معدن. عند (pH) التي عندها إذابة أيدروكسيد أحد المعادن يمكن أن تقل فإن إذابة آخر قد تكون

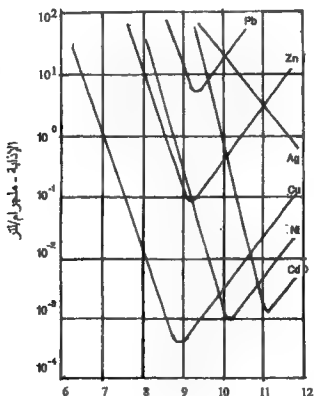
الترسيب الكيميائي

مرتفعة نسبياً. في معظم الحالات الرقم الهيدروجيني (pH) ما بين ٩، ١١ الذي يتم تعيينه طبقاً لاختبار القنينة (Jartest) أو الخبرة بالمخلفات، تنتج أفضل نوعية للسوائل المنتجة، في حالة المخلفات المحتوية على عدة معادن، قد يكون المطلوب ما يزيد عن مرحلة ترسيب واحدة باستخدام نقط تحكم للرقم الهيدروجيني قد يكون مطلوباً، كبديل المرسب الذي ينتج الرواسب التي ليست ثنائية للشحنة يمكن استخدامه.

ترسيب الكروم في شكل أيروكسيد الكروم يتطلب أن الكروم الموجود يكون في الشكل الثلاثي التكافؤ، للكروم سداسي التكافؤ لا يمكن إزالته مباشرة بترسيب الأيدروكسيد. المعالجة المسبقة لاختزال الكروم السداسي إلى الثلاثي يتم بخفض الرقم الهيدروجيني (pH) إلى ما بين ٢ و ٣ وإضافة عامل اختزال مثل ثاني أكسيد الكبريت، (Sodium Meta Bisulfite)، (Sodium Bisulfite) أو كبريتات الحديدوز. العملية موضحة بالتفاعل التالي الذي استخدم ثاني أكسيد الكبريت كعامل اختزال.



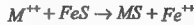
مخلفات الكروم التي تم معالجتها المسبقة يمكن عندئذ معالجتها، إما منفردة أو مخلوطة مع مخلفات أخرى حاملة للمعادن، بواسطة لبن الجير (Lime) أو الصودا الكاوية لرفع الرقم الهيدروجيني (pH) إلى أكثر من ٨ لترسيب الكروميك (Chromic) أيروكسيدات المعدن الأخرى.



شكل (16/2) إتاحة أيروكسيدات المعدن بدلالة الرقم الهيدروجيني

ب- ترسيب السلفيد: Sulfide Precipitation

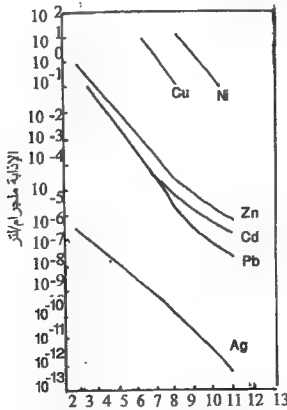
ترسيب السلفيد له العديد من المميزات كبديل لترسيب الإيدروكسيد. إذابة سلفيدات المعدن كما هو موضح في الشكل (١٦/٣) تكون أقل من تلك المقابلة لإيدروكسيدات المعدن، سلفيدات المعدن ليست ذات أيونات ثنائية الشحنة (Amphoteric) والكروم سداسي التكافؤ يمكن ترسيبه في العملية بدون خطوة الاختزال المسبقة. العملية تتضمن الجمع لكل من أيون المعدن الثقيل مع شق السلفيد، كما هو موضح بالتفاعل التالي للمعدن ثنائي التكافؤ مع سلفيد الحديد (Ferrons Sulfide).



إزالة الكروم سداسي التكافؤ تتم خلال الإختزال والترسيب للكروم في شكل إيدروكسيد الكروم (Chromic Hydroxide) في خطوة واحدة كالآتي:



تم استخدام الحديد من مصادر السلفيدات (Sulfides) متضمناً سلفيد الصوديوم (Na_2S) أو صوديوم هيدروسلفيد ($NaHS$)، والتي تكون مذابة ، وسلفيد الحديدوز (FeS) وهو قليل الذوبان.



شكل (16/3) إذابة سلفيدات المعدن بدلالة الرقم الهيدروجيني

عيوب ترسيب السلفيد هو إمكانية إنتاج غاز كبريتيد الهيدروجين السام. يجب الحرص نحو استمرار الرقم الهيدروجيني (pH) أعلا من ٨ لمنع تصاعد غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S). حتي في حالة الرقم الهيدروجيني القلوي فإنه يمكن أن ينطلق كبريتيد الهيدروجين خلال التحلل السريع حيث يتم إضافة ملح السلفيد المذاب إلي الماء. السلبية الثانية لترسيب السلفيد هو إمكانية انطلاق سلفيد زائد في السائل بعد المعالجة والذي يحتاج عندئذ إلي المعالجة التالية. يكون المطلوب زيادة قليلة من السلفيد لدفع التفاعل نحو الإكمال.

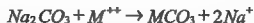
لخفض إمكانية خطورة كبريتيد الهيدروجين فإن إضافة ملح الكبريتيد المذاب يجب أن تتم في نظام مغلق مع عمل للتهوية المناسبة. للمحافظة علي استمرار الجرعة المناسبة للسلفيد مع تجنب المستويات العالية لإنتاج السلفيد، فإنه يتم التحكم في الجرعة باستخدام قطب أيون السلفيد المعين لقياس السلفيد الحر. للزيادة بمقدار ٥٠٪، ملجرام/لتر من السلفيد الحر يمكن استمرارها بنجاح بهذه الطريقة.

لقد وجد أن سلفيد الحديدوز (Ferrous Sulfide) أنه مرسب عملي للسلفيد لأن إذابته كافية لترسيب معادن ثقيلة أخرى، رغم أن إذابته تكون منخفضة بما يكفي لاستمرار تركيز منخفض جداً للسلفيد الحر، مع تجنب مشكلة تصاعد كبريتيد الهيدروجين في حوض التفاعل، وضمان التركيز المنخفض للسلفيد المذاب في السائل بعد المعالجة. نظراً لأن سلفيد الحديدوز نشط ولذلك يكون غير مستقر، فإنه من الضروري إنتاج سلفيد الحديدوز في الموقع، يتم ذلك بتفاعل كبريتات الحديدوز مع سلفيد مذاب مثل (Sodium Hydrosul Fide)، ولبن الجير ولكن لا يزال إمكانية توليد غاز كبريتيد الهيدروجين.

ج. ترسيب الكربونات: Carbonate Precipitation

بالنسبة لمعادن معينة مثل الكاديوم، فإن ترسيب الكربونات قد ينتج تركيزات للمعدن في السائل المعالج تتوافق مع تلك التي يتم الحصول عليها بترسيب الإيدروكسيد، مع الفائدة من خفض الرقم الهيدروجيني (pH) للعمل وزيادة كثافة الحماة وقابليتها للترشيح. يلزم رقم هيدروجيني (pH) (١٠) أو أعلا للترسيب المؤثر لإيدروكسيد الكاديوم والرصاص، ولكن تلك المعادن يمكن ترسيبها في شكل الكربونات عند (pH) من ٧,٥ إلي ٨,٥.

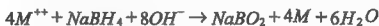
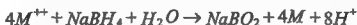
ترسيب المعادن بواسطة كربونات الصوديوم (الصودا آش) يتم طبقاً لما هو موضح في المثال التالي، حيث M تمثل المعدن ثنائي التكافؤ.



العملية ليست مؤثرة لكل المعادن، لقد أظهرت الاختبارات أنه لا يوجد تحسن في نوعية السائل المعالج (Effluent)، الرقم الهيدروجيني (pH)، أو خواص الحمأة خلال ترسيب الأيدروكسيد للزنك والنيكل، وفي الحقيقة فإن حركة العملية تبدو في أن كربونات الزنك والنيكل لا تتكون خلال زمن المكوث التقليدي لوحدة المعالجة.

د. ترسيب صوديوم بوروهيدريد: Sodium Borohydride

صوديوم بوروهيدريد عامل اختزال الذي يمكن استخدامه لترسيب المعادن من المحلول في شكل عنصر المعدن غير المذاب، التفاعل للمعدن ثنائي التكافؤ موضح لكلاً حالتين صوديوم بوروهيدريد بواسطة المعادلات المبسطة الآتية:



العملية عادة تتم في مجال الرقم الهيدروجيني (pH) من ٨ إلى ١١ لتأكيد الاستخدام الكفء لمادة البوروهيدريد. عند الرقم الهيدروجيني أقل من ٨ يزداد استهلاك البوروهيدريد نتيجة التحلل للبوروهيدريد، بينما عند رقم هيدروجيني أعلا من ١١ يقل معدل التفاعل، يتم تعيين أفضل رقم هيدروجيني بالاختبار لموازنة استخدام البوروهيدريد مقابل زمن التفاعل ونوعية السائل بعد التفاعل (Effluent Quality).

صوديوم بوروهيدريد يمكن أن يكون مفيداً خاصة لاستعادة المعادن من محاليل المخلفات، وهو مؤثر لإزالة الرصاص، الزئبق، النيكل، النحاس، الكاديوم، والمعادن الثمينة مثل الذهب، الفضة، والبلاتين. ثم خفض حجم الحمأة إلى ما يزيد عن ٥٠% لعملية الصوديوم بوروهيدريد مقارنة بترسيب لبن الجير. صوديوم بوروهيدريد متاح كمسحوق نشط حر للتدفق أو في شكل محلول مستقر من صوديوم بوروهيدريد في الصودا الكاوية، عموماً يتم عادة استخدام المجال القلوي، ذلك لأنه من السهل تداوله بواسطة القياس الكيميائي ومعدة للتخزين.

هـ. السمنتة: Cementation

السمنتة يعني بها هنا إزالة وترسيب المعدن من المحلول بواسطة معدن أعلا في تسلسل القوة للدافعة، فهي عملية كهروكيميائية أكثر منها عملية ترسيب كيميائي. وتم ذكرها هنا كبديل لعمليات الترسيب الأخرى. للعملية يمكن استخدامها لإزالة أو استعادة الأيونات المعدنية القابلة للاختزال من تدفقات المخلفات المائية، أمثلة هي ترسيب الفضة من محاليل التصوير الفوتوغرافي، ترسيب النحاس من محاليل

معالجة الأسطح، إختزال الكروم المعدني في تنفقات الصرف للترسيب بعد ذلك بواسطة لبن الجير (Lime). استخدام السمته يوفر ميره اقتصادية كبيرة مقارنة بالطرق الأخرى في حالات استعادة المعدن الثمين مثل الذهب، الفضة، أو النحاس باستخدام خرده مادة إختزال (Scrap Reductant Material).

طرق ترسيب أخرى:

توجد طرق ترسيب أخرى التي يمكن اعتبارها لمعالجة المخلفات المحتوية علي مركبات معدنية معينة، خاصة حيث المخلفات تحتوي معدن واحد، حيث يكون المطلوب إستعادة المعدن. الكاتايونات ثلاثية التكافؤ مثل الحديد، الألومنيوم، الكروم يمكن إزالتها انتقائياً من المحاليل المحتوية علي كاتايونات ثنائية التكافؤ وكاتايونات أحادية التكافؤ بترسيب الفوسفور. هذه يمكن أن تكون طريقة مؤثرة جداً لفصل واستعادة المعدن ثلاثي التكافؤ مثل الكروم من خليط لمطول المخلفات.

الباريوم يمكن ترسيبه في شكل كبريتات الباريوم، وهي مادة شديدة الثبات غير مذابة وغير خطره. السليونيوم يمكن استعادته من محاليل المخلفات بالتفاعل مع ثاني أكسيد الكبريت لترسيب السيلينيوم المعدني، مركبات السيلينيوم (Selenides) يمكن إزالتها بالترسيب في شكل ملح سيلينايد الحديد غير المذاب والفضة يمكن ترسيبها من المحلول في شكل كلوريد الفضة غير المذاب.

٣. اعتبارات التصميم:

الاعتبارات التصميمية التالية والبدائل المتعلقة باستخدام الترسيب لمعالجة المخلفات الخطره تكون مرتبطة إما بعمليات الترسيب نفسها أو بطبيعة المخلفات الحاملة للمعدن الخطر المطلوب معالجته. في كثير من الحالات تكون محاليل المخلفات المعدنية الخطره مركزه نسبياً، وتحتوي خليط من مكونات مختلفة بتركيزات عاليه. مثال محلول طرف الطلاء المعدني، أحواض معالجة الأسطح بالكيمويات (Pickling). معالجة تلك المخلفات بالترسيب يتطلب عادة تصميم خاص وطرق تشغيل خاصة.

فصل المخلفات والمعالجة المسبقة : Waste Segregation And Pretreatment

عند تصميم نظام ترسيب للمخلفات التي من مصائد مختلفة، ما يلزم تكلفة عاليه في حالة فصل مخلفات معينة، العديد من المخلفات المحتوية علي المعادن التي يمكن أن تعالج بالترسيب تحتوي كذلك علي السيانييد الذي يلزم إزالته ليس فقط لتحقيق معايير التخلص ولكن لأن السيانييد يعمل كعامل تعقيد (Complexing Agent) الذي يعيق

الترسيب. المخلفات التي تحتوي الكروم السداسي لا يمكن معالجتها مباشرة بالترسيب بالإيدروكسيد. الكروم يجب أولاً اختزاله إلى التكافؤ الثلاثي.

السبانيدي يمكن معالجته المسبقة بالتدمير إلى ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين بالكلورة القلوية. الكروم السداسي يمكن اختزاله إلى الكروم الثلاثي بواسطة عامل اختزال مثل ثاني أكسيد الكبريت عند رقم هيدروجيني منخفض. رغم أن تلك العمليات قد تستخدم لتجميع التدفقات للمخلفات، فإن فصل مخلفات السبانيدي والكروم السداسي يوفر للمعالجة المسبقة لتدفقات مخلفات أصغر. وهذا يتطلب أوعية تفاعل أصغر ومعدة تغذية للكيماويات، وانخفاض الاستخدام الكيماوي لضبط الرقم الهيدروجيني وكذلك للكلور ولعامل الاختزال حيث سيكون هناك مواد أقل التي تتطلب تلك الكيماويات.

اختبار القنينة : Jar Testing

الطبيعة عالية للتغير للمخلفات لخطره والتأثير الكبير الذي يمكن أن يكون لكثير من مكونات المخلفات علي عمليات الترسيب جعل من الاختبار ضرورة بهدف الاختيار المناسب لمعايير التصميم لعملية المعالجة للمخلفات الخطرة بالترسيب. اختبارات القنينة المعملية علي عينات للمخلفات يمكن عملها ببساطة وبسرعة لتعيين جرعات المرسب، وأفضل رقم هيدروجيني ، وقابلية المواد للترسيب، متطلبات مساعدات الترسيب، وتركيزات المعدن المتبقية. كذلك يمكن استخدام اختبار القنينة لمقارنة عمليات الترسيب التبادلية، في معالجة المخلفات المركزة بطريقة الدفعات. يتم عادة عمل اختبار القنينة لتصميم طريقة المعالجة لكل دفعة معالجة من المخلفات.

الجير مقابل الصودا : Lime Versus Caustic

يمكن استخدام لبن الجير أو الصودا كمصدر لأيونات الإيدروكسيد لترسيب أيديروكسيدات المعدن. يوجد العديد من الاختلافات الهامة التي يجب اعتبارها عند اختبار النظام لاستخدام معين. الصودا أكثر تكلفة من الجير، ولكنها أسهل في التداول والتغذية وتتطلب معدة بسيطة نسبياً للتخزين والضخ والقياس. الجير يجب تحويله إلى الجير المطفي (إذا تم الحصول عليه في شكل الجير الحي) ، وتحويله إلى ردةغة وتخزينه في حوض مجهز بقلاب.

لمنع حدوث الانسداد لخطوط المواسير والمحابس، فإنه عادة يتم التغذية بلبن الجير من حلقة يتم خلالها الضخ المستمر للردةغة من حوض الردةغة إلى نقطة الاستخدام ثم العودة ثانية إلى الحوض. يستخدم خط تغذية قصير ومحبس تضيق

لخفض الانسداد. أحياناً تستخدم خراطيم مطاط بحيث يمكن بسهولة نظافة التراكمات في الخطوط. لذلك فإن تكلفة التغذية للبن الجير يمكن أن تكون أكبر من تلك للصودا.

بخلاف التكلفة العالية لنظام التغذية للجير، فإن حجم وتكلفة عملية فصل المادة الصلبة وسحب المياه يمكن أن تكون عالية في حالة الترسيب بالصودا مقارنة بالترسيب بالجير. الرواسب المتكونة بترسيب الصودا عادة لا ترسب ولا تزال منها المياه كما في حالة الحماة من نظم الترسيب الكبيرة للجير. لذلك فإنه قد يكون مطلوباً مرققات ضخمة ومعدة سحب المياه أكبر للحصول على نفس نوعية المسائل بعد المعالجة ونتائج سحب المياه التي يمكن الحصول عليها باستخدام لبن الجير. إذا كانت المخلفات ذات محتوى عالي من الكبريتات، كما في حالة من حامض الكبريتيك، فإن ترسيب كبريتات الكالسيوم سيزيد حجم الحماة من ترسيب الجير. على الجانب الآخر هذه المادة تعاون في سحب المياه من الحماة بسبب تلك الاعتبارات فإن الاختيار بين الجير والصودا لترسيب الأيدروكسيد لا يتم عمله على أساس تكلفة الكيماويات والتغذية فقط، خاصة في حالة النظم الكبيرة، يتم عمل الاختيارات لتقدير الفروق في قابلية الحماة للترسيب وسحب المياه والتأثير على التكلفة الكلية. مميزات وعيوب ترسيب الجير والصودا موضح في شكل موجز بالجدول الآتي:

البيان		الجير	الصودا
المميزات	• تكلفة قليلة للكيماويات • راسب أكثر قدرة على الترسيب والترشيح	• أكثر تفاعلية يسهل تداوله	
العيوب	• يصعب تداوله مقارنة بالصودا. • تكلفة عالية لنظام التغذية. • تكلفة عالية للصيانة. • زيادة الحماة في حالة وجود الكبريتات	• تكلفة كيماويات عالية. • راسب أقل قدرة على الترسيب والترشيح. • تكلفة أعلا للترويق وسحب المياه. • زيادة المواد المذابة في السائل بعد المعالجة.	

حرارة التفاعل : (Heat Of Reaction)

كثيراً من المخلفات الخطرة المحتوية على معادن لتي تكون قابلة للمعالجة بالترسيب يكون محاليل حامضية مركزه نسبياً، معالجة تلك المخلفات بالترسيب عادة

يتطلب التعادل (Neutralization) لضبط الرقم الهيدروجيني (pH) إلى أكثر من ٨. حرارة تفاعل التعادل المنتج للحرارة والترسيب يمكن أن ينتج عنها ارتفاع كبير في درجة الحرارة في حوض التفاعل، وقد يسبب طرطشة وانبعاث مواد متطايرة عند نقطة إضافة مادة التفاعل. يكون من المهم أن هذا العامل يتم مراعاته عند تصميم طريقة العمل في نظم الترسيب لضمان التأمين والحماية للمعدة وللعاملين.

حرارة التفاعل يمكن أن يتم التعامل معها بأحد الطرق الآتية:

١. تخفيض المخلفات المركزة.
٢. التحكم في معدل التعادل أي معدل التغذية بالعامل المساعد، لتجنب الارتفاع الزائد في درجة الحرارة في حوض التفاعل. أقصى درجة حرارة تشغيل بالنسبة لمادة الحوض من البلاستيك هي (٦٥°م) ١٥٠°فهرنهايت.
٣. إضافة ردغة لبن الجير (ومياه التجفيف عند الضرورة) إلى حوض التفاعل قبل إضافة مخلفات الحامض. هذا يغطي الحوض ويحميه من الحامض القوي ويسمح بانتشار حرارة التفاعل خلال كتلة الردغة ومياه التجفيف في الحوض.
٤. تبريد حوض التفاعل من الخارج أو بالتهوية.
٥. التهوية المناسبة للانبعاثات.
٦. استخدام للحجز السطحي بمساحة سطحية كبيرة للتعادل.

ترسيب المعادن المعقدة: Recipitation of Complexed Metals

يوجد العديد من المركبات الكيميائية التي تعمل كعوامل تعقيد، بما يعيق أو يمنع حدوث استخدام طرق الترسيب التقليدية في معالجة المخلفات. المحتوية علي المعادن السيانيد، والامونيا وكذلك مركب إيديتا (EDTA) (Ethylene Diaminetetraacetic Acid). المعالجة المسبقة للأمونيا بواسطة التجريد بالهواء أو البخار، والسيانيد بالكلورة القلوية، يمكن استخدامها لإزالة وتدمير تلك المواد قبل الترسيب بالإيدروكسيد، (EDTA) يمكن ترسيبها كحامض حر عند رقم هيدروجيني منخفض، معالجة المخلفات المعقدة المحتوية علي المعدن بالاختزال الكيميائي والترسيب تم اعتماده للمخلفات المحتوية علي النحاس، القصدير، والرصاص.

الرقم الهيدروجيني لتتفاعلات المخلفات يتم خفضه لتكسير مختلف المركبات المعقدة للمعدن، يليه إضافة عامل الاختزال لاختزال المعادن إلي أني حالة أكسدة لها،

والتي تسمح بترسيب المعادن يتم عندئذ إضافة لبن الجير لترسيب المعادن من المحلول.

طريقة أخرى خاصة للمركبات المعقدة من النحاس والنيكل هي الترسيب عند رقم هيدروجيني عالي (من ١١,٥ إلى ١٢,٥) باستخدام لبن الجير. الزيادة الكبيرة في الرقم الهيدروجيني (pH) يعتقد أن تساعد في حيود حالة الأتران لتحلل المادة المعقدة لإنتاج أيونات المعدة غير المعقدة والتي يمكن عندئذ ترسيبها.

الترسيب المتزامن: Coprecipitation

الحصول على السائل بعد المعالجة للصرف طبقاً للمعايير المقررة للمعادن السامة عادة لا يتم خلال الترسيب الكيميائي للمعادن فقط. الترسيب المتزامن مع معادن أخرى يمكن أن يعزز كفاءة المعالجة وحصول تركيزات أقل للمعادن في السائل بعد المعالجة وذلك بإزالة كلا من الأشكال الذائبة والعالقة للمعدن. العملية تتضمن أنه بالإضافة إلى الترسيب للمعادن، يتم الانمصاص للأيونات الذائبة على الرواسب لمعادن أخرى والترويب للجسيمات الصلبة الدقيقة التي تم وقوعها في الشبكة بالترسيب. لقد نجح الترسيب المتزامن في إزالة الزرنيخ، الأنثيمون، السيلينيوم، البريليوم، الكاديوم، الكروم، النحاس، الرصاص، الموليبدنوم، النيكل، الزنك.

مثال لاستخدام الترسيب المتزامن هو في معالجة المخلفات المحتوية على الزرنيخ، الترسيب الكيميائي بالجير، المرسب الأكثر شيوعاً لا يمكنه الحصول على مستويات متبقية منخفضة من الزرنيخ عند مستويات رقم هيدروجيني (pH) معقولة. الرقم الهيدروجيني العالي جداً حتى (١٢) يكون مطلوباً لتحقيق أقصى إزالة للزرنيخ، بالإضافة إلى الحاجة العالية للكيمياويات، فإن التعادل يكون مطلوباً قبل الصرف، والحماة الناتجة يمكن أن تكون كثيرة. إضافة ملح الحديد أو الألومنيوم لتحقيق أقصى إزالة للزرنيخ عند رقم هيدروجيني (pH) قريباً من التعادل.

الفصل السابع عشر

تكنولوجيا التجميد والتثبيت

Solidification And Stabilization Technology



١. مقدمة:

التجميد والتثبيت هو المصطلح الذي يشير إلى مجموعة شاملة من التقنيات و/أو العمليات التي تستخدم مواد الرباط (Binders) وإضافات لمعالجة المخلفات ولعلاج الأماكن الملوثة. تستخدم التقنية لخفض حركة وسمية الملوثات في المخلفات، تحسين خواص التداول للمخلفات في السوائل، وإعداد المخلفات للتخلص بالردم الأرضي (Land Fills).

التعريف بالتجميد والتثبيت والتغليف: Encapsulation

للتجميد والتثبيت هما عمليات معالجة مصممة لتحسين التداول والخواص الطبيعية وخفض المساحة السطحية التي يمكن إنتقال الملوثات خلالها وتحديد الإذابة أو خفض السمية للمكونات الخطره. عمليات التجميد تحقق تلك النتائج بتحويل المخلفات إلى الشكل الصلب و/أو تغليف مكونات المخلفات. للتجميد قد ينتج مخلفات في شكل قطعة واحدة، أو في شكل حبيبات، أو في شكل يشبه الطفلة أو في أى شكل يعتبر صلباً. للتجميد يتضمن التغليف لجسيمات المخلفات الدقيقة (أى التغليف الميكروني)، والذي يساعد علي عزل الملوثات عن البيئة. للتغليف الضخم (Macroencapsulation) يعني به التغليف للكامل الضخمة من مادة للمخلفات أو وضع غلاف أو غشاء أو مادة أقل نفاذية مثل البلمرات، التي تغلف تماماً المادة الصلبة. وهذا تم الإشارة إليه بأنه التغليف المطحي. رغم أن التعبئة في براميل هو أحد أشكال التغليف إلا أنه لا يعتبر كذلك. التجميد ليس بالضروري أن يتضمن تفاعل كيميائي بين مكونات المخلفات وعوامل التجميد. العملية يمكن أن تنقل إلي حد كبير المساحة السطحية التي يمكن أن تكون معرضة للاستخلاص بالغسيل أو الإذابة أو الترشيح (Leachate) بذا إعاقه الانتقال أو حركة أى ملوثات. خواص التداول قد تكون محسنة بدرجة كبيرة. التثبيت يشير إلي العمليات التي تحول الملوثات إلي الشكل الأقل إذابة، الأقل حركة، والأقل

سمية، وبذا خفض الامكانيات الخطره للمخلفات المعالجة. الكثير من العمليات يتم تصميمها لتنفيذ كلا من التجميد والتثبيت، رغم أن التثبيت يحدث قبل التجميد عادة. لذلك فإن المصطلح التجميد/التثبيت يستخدم أحياناً إلا أن مصطلح (Fixation) استخدم لأي من التجميد أو التثبيت. من المهم تفهم لغة هذه التقنية. وذلك بالإشارة إلى التعاريف التالية.

التجميد (Solidification) أو التصلب:

التجميد هو العملية حيث يتم إضافة مواد للمخلفات لإنتاج المنتج الصلب. وهي قد تتضمن أو لا تتضمن التفاعل الكيميائي أو للرباط الكيميائي مع ملوثات المخلفات والإضافات، ولكن قد تتفاعل مع الماء الحر في المخلفات. إمتصاص الماء بمواد الإمتصاص (Sawdust) لا يعتبر تجميد. التغليف الميكروني للجسيمات الدقيقة هو الآلية الرئيسية التي يمكن أن تقلل حركة الملوثات.

التثبيت: (Stabilization)

التثبيت يعني به العملية التي يتم بها تحويل المخلفات إلى الشكل الأكثر ثباتاً. يحدث التفاعل الكيميائي بين الإضافات والمخلفات لخفض الملوثات إلى أدنى حالة من الإذابة، الحركة، و/أو السمية. التثبيت ليس بالضرورة منتجاً للشكل الصلب والجامد. العمليات البيولوجية لا تؤخذ في الاعتبار.

التثبيت الكيميائي: (Chemical Fixation)

استخدام مصطلح التثبيت الكيميائي ليعني التجميد والتثبيت أو للجمع بين العمليتين. والمصطلح يتضمن إنتقال المركب السام إلى الشكل الجديد غير السام. لقد استخدم المصطلح بطريقة غير صحيحة لوصف العمليات التي لا تتضمن الرباط الكيميائي للملوث مع الإضافة.

التغليف: Encapsulation

التغليف هو العملية التي تتضمن التغطية الكاملة والإحتواء لجسيم المخلفات أو تكتل المخلفات مع مادة مثل إضافة مادة رباط، بوليمر، الأسفلت أو مادة مشابهة، التغليف الميكروني هو للجسيمات الدقيقة. التغليف للكتل الكبيرة من المخلفات أو للمواد الميكرونية المغلفة.

التزجيج: Vitrification

التزجيج هو العملية حيث تستخدم الطاقة لتحويل المادة إلى الحالة المنصهرة أو شبه المنصهرة. درجة الحرارة العالية (١٠٠٠م) في العملية تعمل علي التحلل

الحراري وحرق المواد العضوية والمواد القابلة للاحتراق وتثبيت المعادن خلال العديد من الآليات. درجات الحرارة العالية هذه يمكن كذلك أن تعمل على تبخير المواد العضوية وبعض المواد المعدنية.

الامتصاص أو الإمتزاز : Sorbtion

الامتصاص يتضمن إضافة مادة صلبة لتأخذ أى سائل حر في المخلفات. مثال، الكربون المنشط، سيليكاك الصوديوم اللامائية، الطفلة، ومواد أخرى مشابهة. معظم عمليات الامتصاص تقوم بمجرد نقل السائل إلى سطح المادة الصلبة (مثل الإسفنج الذى يقوم بامتصاص الماء)، ولا يقلل من إمكانات خفض الإذابة أو الحركة أو السمية (Leaching). استخدام الامتصاص هو لمجرد امتصاص السائل من المخلفات لتحقيق عدم وجود سائل في موقع الردم الأرضي. مواد الامتصاص المختارة تقيد في تعزيز عمليات التجميد والتثبيت.

٢. الاستخدامات:

عمليات التجميد / التثبيت مؤثرة في معالجة العديد من مواد المخلفات التي من الصعب إدارتها وتداولها بما فيها بعض النويات المشعة، تلك العمليات يمكن استخدامها لمعالجة خليط من الملوثات، كما استخدمت في معالجة تنفقات المخلفات الصناعية وفي إصلاح للتربة الملوثة. كمثال، المركب العضوي الذى يحتوي على المعادن الثقيلة قد تتم معالجته بالحرق يلي ذلك التجميد/التثبيت للمخلفات غير القابلة للحرق.

بينما تم قبل عمليات التجميد/التثبيت في معالجة المعادن الثقيلة، إلا أنه مازال خلاف إلى حد ما بالنسب لمعالجة المواد العضوية، ولكن، في السنين القليلة، استخدمت التقنية في معالجة مركبات عضوية مختارة واعتبرت مناسبة لبعض المخلفات المحتوية على مواد عضوية شبة متطايرة أو غير متطايرة. وتعتبر تلك التقنية أنها غير مناسبة للمخلفات المحتوية على المواد العضوية المتطايرة، رغم أن ذلك قد يعتمد على طبيعة الخطورة للمركب المتطاير وما إذا كان وجوده سوف يتدخل في العملية من عدمه. المخلفات التي تحتوي تركيزات منخفضة من المواد العضوية الخطرة المخلوطة مع المواد غير العضوية قد تكون المعالجة لتكمير المواد العضوية مكلفة. في مثل هذه الحالات يكون التجميد/التثبيت هو الاختيار الجيد.

تقنيات الحرق، التحلل البيولوجي، الأكسدة الكيماوية أفضل من عمليات التجميد/التثبيت عند معالجة المخلفات ذات التركيز العالي من المواد العضوية الخطرة. نظراً لأن كثيراً من المكونات العضوية غير قطبية (Nonpolar) وغرلونية. ولا تآلف الماء

(Hydrophobic)، فإنها لا تتفاعل مع مواد الرباط (Binders) غير العضوية، وهي يتم امتصاصها أو تغليفها في نقوب البلورات. أحياناً يتم استخدام إضافات من المواد غير المحبة للماء مع مواد الرباط لزيادة للتأثير لعملية التجميد/التثبيت في معالجة المواد العضوية. الإضافات مثل الكربون المنشط، للفحم، الطفلة المطبورة، تم استخدامها لتعزيز نظم المعالجة بالتجميد/التثبيت لمركبات عضوية معينة.

خصائص تقنيات التجميد/التثبيت:

عمليات التجميد/التثبيت يمكن تصنيفها طبقاً لنوع مادة الرباط إلى العمليات العضوية وغير العضوية. مواد الرباط غير العضوية كانت هي الأكثر استخداماً وتشمل مواد الأسمنت والبوزولانك (Pozzolanic) أو مجموع الاثنين، مواد الربط تلك تشمل الأسمنت البورتلاندي، الأسمنت البورتلاندي/الرماد المتطاير، الأسمنت البورتلاندي، السيليكا المذابة، الجير/الرماد المتطاير، الجير أو غبار فرن الأسمنت، الأسمنت البورتلاندي/الجير، الأسمنت البورتلاندي/الطفلة.

نظم الرباط هذه تتطلب الماء لحدوث التفاعل الكيميائي ولذلك يشار إليها أحياناً بأنها عمليات التجميد/التثبيت للمائية. في تلك النظم عادة تحتوي مواد الربط الأسمنتية مواد التفاعل (Reactants) التي تساعد على تثبيت المكونات (مثال، تحويل تلك المكونات إلى الشكل الأقل إذابة وأقل حركة) بالإضافة إلى الآلية العامة للإحتواء والتي هي التغليف الطبيعي. تلك التفاعلات تشبه لتلك التي تحدث في إنتاج الخرسانة. نظراً لأن الماء هو العامل الهام لذلك فإن كيمياء النظم الكيميائية تكون بتفاعلات التحلل المائي (Hydrolysis). نواتج التحلل يمكن أن تتفاعل لتكوين أنواع أيونية جديدة أو متعادلة، أو تكوين رواسب للأيدروكسيد، الأكاسيد، أو الأملاح (مثل الكربونات، الكبريتات، والسلفيدات) بينما نظم تفاعلات (Pozzolanic) للرماد المتطاير ورماد الفرن تختلف في بعض الحالات، إلا أن للتفاعلات تكون شديدة التشابه لعمليات ذات الأساس الأسمنتية. الظروف المختلفة سوف تؤثر على التفاعلات والأداء لتلك النظم. القلوية تؤثر على حركة الإيدروكسيدات المعدنية، مع أنني إذابة تحدث خلال مجال الرقم الهيدروجيني من ٧,٥ إلى ١١. أحياناً يتم استخدام عوامل درئ (Buffers) لتساعد في مقاومة التغيرات السريعة للرقم الهيدروجيني (pH). جهد الأكسدة والاختزال (Redox) يلعب كذلك دوراً هاماً وتستخدم عوامل الأكسدة والاختزال لوضع المكونات ذات الحساسية للأكسدة والاختزال في أنني حالات الإذابة بالأكسدة.

كذلك المكونات العضوية يمكن أن تتفاعل ليحدث لها تحلل المائي، تغيرات في حالة الأكسدة والترسيب في شكل الملح.

أملاح الفوسفات المذابة مع القلوي تستخدم لإحكام الرقم الهيدروجيني وتكوين معقد الفوسفات المعدني ذو الإذابة المنخفضة.

مواد الربط العضوية التي إما أنه تم استخدامها أو تجربتها تشمل الأسفلت (الببتومين)، الإيبوكسايد (Epoxy)، البولي إيبستر، البولي أوليفتر (أساسا البولي إيثيلين، البولي بيوتاداي إين)، يوريا فورمالدهيد، ومواد أخرى. استخدمت مواد الربط العضوية لتجميد المخلفات المشعة وكذلك لبعض المواد الخطرة العضوية التي لا يمكن تدميرها بالطرق الحرارية.

استخدام الجمع بين مواد الربط العضوية وغير العضوية. وهذا يشمل الدياتوم الأرضي (Diatomaceous Earth) مع الاسمنت والبولي ستيرين، البولي يوريثين، والاسمنت، وجيل البوليمر مع السيليكايت وأسمنت الجير.

مواد الربط العضوية تستخدم في نوعين من العمليات، الثيرموبلاستيك (الترتئين بالتسخين ويمكن تشكيلها) ، الثيرموسيت (الذي يتجمد بعد التشكيل الحراري ولا يمكن تليينه بعدئذ) مع الراتجات العضوية.

عمليات الثيرموبلاستيك تخلط جسيمات المخلفات الجافة مع الأسفلت المنصهر أو مواد مشابهة. الاحتجاز الطبيعي هو الآلية الأولى لاحتواء الملوثات. الآتي لتوفير معلومات إضافية.

• يتم تجفيف المخلفات وخلطها مع مادة البلاستيك الساخنة، مثل الأسفلت، البولي إيثيلين، أو أي مادة متوافقة.

• العملية يمكن أن تكون مؤثرة لبعض المواد المذابة والسامة التي لا تعالج بالعمليات الأخرى. مثال، تلك هي واحدة من العمليات للقليلة القابلة للتطبيق إلى التجميد/التثبيت لأملاح الرش - التجفيف (Spray - Dried).

عمليات الثيرموسيت تعتمد علي استخدام الراتجات مثل البوريا فورمالدهايد وتكوين البوليمر لتثبيت المخلفات. تم تقييم تلك العمليات لمعالجة الكلوريدات العضوية، الفينولات، حماة البويات، السيانيدات، الزرنيخ، حماة اللطاء الكهربائي،... إلخ. طبيعي لا يوجد تفاعل بين مكونات المخلفات والبوليمر لتطوير، عدم إذابة، أو تدمير الملوثات.

الإضافات لعمليات التجميد / التثبيت:

تم استخدام العديد من الغضافات لتحسين عمليات التجميد/التثبيت، بعض الأمثلة تشمل السيليكايت المذابة لخفض التدخل من أيونات المعدن، أنواع طفلة مختارة

لامتصاص الموائل وربط أن أيونات معينة أو كاتأيونات ، الجير ، الرماد المتطاير (Fly Ash)، للصودا آش، والمواد المشابهة التي تساعد على استمرار الحالة القلوية، الطفلة، الطفلة المحبة للمواد العضوية (Organophilic) تم استخدامها للمساعدة في تثبيت ملوثات عضوية معينة، وأخرى. عند استخدام الإضافات ، يجب الحرص نحو مراعاة أن تلك الإضافات عند قيامها بتحسين بعض الخصائص لا تكون ضارة بأخرى، بما يتطلب التقييم لتلك الإضافات.

مخططات التصنيع للتجميد/التثبيت:

S/S Processing Schemes:

يوجد العديد من الطرق التي استخدمت في تلك التطبيقات والتي تشمل:

• التصنيع في البرميل In-Drum Processing

في هذه العملية يتم إضافة العوامل المساعدة لعملية التجميد/التثبيت إلى المخلفات الموجودة في البرميل أو أي وعاء آخر. بعد الخلط والتجميد والتصلب (Setting)، يتم عادة صرف المخلفات المعالجة من الوعاء. يجب مراعاة زيادة الحجم، والحاجة إلى ضمان الخلط الجيد للإضافات مع المخلفات.

• التصنيع في المصنع In Plant Processing

يقصد بهذا أن المصنع مصمم لمعالجة مواد ضخمة من المخلفات بطريقة التجميد/التثبيت. يمكن أن يكون هذا للمصنع عبارة عن وحدة خاصة لمعالجة المخلفات من المنتجات أو المخلفات التي تصل إليها من مصدر آخر.

• وحدة المعالجة المتحركة Mobile Plant Processing

تعمل تلك الوحدة على مقطورة حيث يمكن تحريكها من مكان إلى آخر، تلك الوحدات تعالج المخلفات بضخ المخلفات السائلة (كما في حالة من حوض المخلفات) أو بمعالجة المواد الصلبة باستخدام المطحنة العجينية أو معدة مشابهة وذلك مع إضافة الإضافات.

• المعالجة خارج الموقع حيث يتم التخلص من المخلفات بعد المعالجة في حفرة للردم الأرضي.

المعالجة في الموقع:

إضافة و/أو حقن العوامل للمساعدة للتجميد/التثبيت إلى مساحة التربة الملوثة، أو تحت السطح للموقع الملوث مع الخلط الجيد يشار إليه بالمعالجة في الموقع. المخلفات

المعالجة من الطبيعي أن يتم تركها في مكانها. في بعض الحالات يتم استخدام قمح حفر وتجهيزات حقن لحقن الإضافات وعمل الخلط علي أعماق كبيرة.

التداخل مع عمليات التجميد/التثبيت:

يوجد عدد من المواد والعوامل التي يمكن أن تتداخل مع عمليات التجميد/التثبيت وتؤثر على العملية و/ أو كفاءة المنتج بطرق مختلفة. الأمثلة القليلة تشمل الخفض في إجهاد الضغط للمنتجات ذات الأساس الأسمنتي بسبب الفينولات، الزيوت والشحوم قد تضعف الرباط ونقل من إجهادات الضغط، المواد العضوية المكلورة تزيد الفترة الزمنية للشك (Setting) ونقل من قدرة المنتج علي التحمل، الأملاح المعدنية المذابة يكون من الصعب تجميدها مع خفض قدرة التحمل للمنتج للنظم ذات الأساس الأسمنتي، الهاليدات (Halides) قد تؤخر الشك كما يسهل استخلاصها بالفسيل (Leached) من المخلفات، للكبريتات تؤخر الشك وتسبب الانتفاخ والتشطي والتفشر (Spalling)، وخلافه. التداخلات مع عمليات التجميد يؤثر عموماً علي التفاعلات وينتج عنه خفض القوة لشكل المخلفات المعالجة. بالنسبة للتثبيت، فإن للتداخلات عادة تنصف بعدم التوافق الكيميائي ما بين المكونات ومواد الربط، وقد تحدث تفاعلات غير مرغوب فيها كما في حالة لنطلاق سيانيد الهيدروجين عند إضافة ماص للحامض مع المخلفات المحتوية علي السيانيد.

المعالجة المسبقة لتحسين عمليات التجميد/التثبيت:

في بعض الحالات، تكون المعالجة المسبقة مطلوبة لإعداد المخلفات لتكون أكثر قابلية للتجميد/التثبيت أو لتحسين الأداء للعملية والمنتج. كمثال، إختزال الكروم السداسي إلي الثلاثي سوف يجعل الكروم في الشكل الأقل إذابة. المخلفات المحتوية علي المخلفات العضوية المتطايرة قد تتطلب المعالجة المسبقة لإزالتها تلك المواد المتطايرة. المخلفات الأخرى المحتوية علي التي تتداخل مع تفاعلات التجميد/التثبيت قد تتطلب معالجة مسبقة مثل الحرق أو إضافة مادة امتصاص، لاحكام التأثيرات الضارة للعملية.

عمل الاختبارات العملية والميدانية:

يلزم إجراء الاختبارات العملية لتقدير نوعية الإضافات وكمياتها طبقاً لنوع المخلفات وخاصة بالنسبة لمواد الرباط ومواد الامتصاص والمقايير المناسبة من ناحية الكمية. كما يجب عمل الاختبارات علي المنتج للمعالج بالنسبة لمدي تسرب المخلفات بفعل المياه والردم الأرضي.. إلخ.

الفصل التاسع عشر

الأكسدة الكيميائية والإختزال

Chemical Oxidation And Reduction



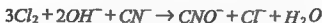
١. مقدمة:

مبادئ عمليات الأكسدة - الإختزال:

تفاعلات الأكسدة الإختزال (Redox) هي تلك التفاعلات التي فيها حالة الأكسدة للذرات تتغير نتيجة لانتقال الإلكترونات من أحد أصناف الكيماويات إلى آخر. يقال أن المصنف الكيماوي يتأكسد في حالة زيادة رقم الأكسدة له (أي فقده للإلكترونات)، إذا كانت حالة الأكسدة للمصنف الكيماوي تقل (أي أنه يكتسب إلكترونات)، فإنه يختزل، لكن يحدث تفاعل الأكسدة الإختزال فإنه يجب أن يكون هناك كلا من المختزل (Reductant) والمؤكسد (Oxidant)، مثال، في التفاعل التالي.



Cu^{2+} هو المؤكسد أو عامل الأكسدة. النحاس يختزل من حالة الأكسدة +٢ إلى ٠. الحديد يعمل كعامل إختزال (مختزل). الحديد المعدني. الذي له حالة أكسدة صفر يتأكسد إلى الحديدوز الذي له حالة أكسدة +٢. يستخدم مصطلح الأكسدة إذا كانت المادة الكيماوية المستهدفة (الملوث) تتأكسد، والإختزال في حالة إختزال المادة الكيماوية. فمثلاً، في حالة أكسدة السيانيد فإن CN^- يتأكسد إلى السيانيت (CNO^-). ولكن هذا التفاعل لا يمكن حدوثه بدون الإختزال لعامل الأكسدة. فمثلاً، يمكن أكسدة السيانيد باستخدام الكلور. في هذه الحالة يكون التفاعل للكلية هو:



هنا يكون الكلور هو المؤكسد ويحدث له إختزال. السيانيد هو المختزل وتحدث له أكسدة.

٢. أكسدة المخلفات الخطرة:

الأكسدة الكيميائية استخدمت لمعالجة المخلفات الخطرة والمخلفات غير الخطرة، مياه الشرب، مياه الصرف. للتقنية تم استخدامها بسهولة لأكسدة العديد من الملوثات العضوية بما فيها (Pesticides, Indoles, Phenols) والمذيبات المكلورة (Polycyclic Aromatic)

hydrocarbons، للبنزين، التولوين. الملوثات غير العضوية القابلة للأكسدة تشمل السلفيدات (Sulfides)، الأمونيا، السيانييد، المعادن الثقيلة (مثل الزئبق، الحديد، المنجنيز). الكيماويات المستخدمة عادة كمؤكسدات تشمل الكلور (في شكل غاز الكلور أو أملاح الهيبوكلورايت)، ثاني أكسيد الكلور، ثاني أكسيد الهيدروجين، برمجيات البوتاسيوم، الأكسجين، الأوزون، وشق الأيدروكسيد (OH) باستثناء أكسدة الهواء للرطب وعمليات الاحتراق فإن عمليات الأكسدة تكون مؤثرة فقط على المخلفات المخففة (حيث الأكسجين الكيماوي المطلوب-COD يكون أقل من ٥٠٠٠ ملجرام/لتر)، هذا يرجع إلي التكلفة العالية للمؤكسدات الضرورية لمعالجة المخلفات عالية التركيز والمياه الجوفية للملوث. يجب ملاحظة أن بعض عمليات الأكسدة بما فيها أكسدة الهواء - الرطب، الأكسدة بالأوزون، استخدمت لمعالجة الحمأة والتربة.

كيماويات الأكسدة:

بينما أن كثيراً من الكيماويات يمكن استخدامها كعوامل أكسدة، فإن القليل نسبياً هو المستخدم في معالجة المخلفات الخطره. إختيار المؤكسدات يكون محدوداً طبقاً لجهد الأكسدة والإحتزال، السمية، سهولة الاستخدام، التكلفة، تكوين المنتجات الثانوية. استخدام عمليات الأكسدة تتطلب عادة اختبارات معملية وحقلية مكثفة قبل إختيار المؤكسد المناسب وتصميم المعدة.

المؤكسدات المستخدمة سيتم مناقشتها.

أ. الكلور (غاز الكلور وأملاح الهيبوكلورايت):

الكلور غاز أصفر يميل إلي الاخضر وهو غاز عالي النشاط والتفاعلية، الكلور غاز سام وشديد الإثارة للأغشية المخاطية. عادة يتم إمداده في الشكل السائل المضغوط في اسطوانات من الصلب. للكلور للغاز يستخدم عادة في المرافق الضخمة لكونه أقل تكلفة من أملاح الهيبوكلورايت. للكلور ينوب في الماء لتكوين حامض للهيبوكلوراس، الذي يتحلل لتكوين الهيبوكلورايت بالتفاعلات.



نظراً لأن ثابت الإتزان (Equilibrium Constant) لإذابة (Dissolution) غاز الكلور صغيراً (١٠×١٠^{-٤} عند ٢٥°م)، فإن معظم الغاز الذي يضاف يتحلل لتكوين حامض الهيبوكلوراس (عدا عند رقم هيدروجيني أقل من ١ (pH < 1)).

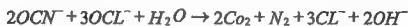
هيبوكلورايت الصوديوم والكالسيوم كلاهما سهل التداول مقارنة بالكلور. هيبوكلورايت الصوديوم يمكن إمداده في شكل الحبيبات أو الأقراص أو في شكل سائل المحتوي علي ١٤-١٥% كلور نشط، المحلول السائل يجب حفظه في الظلام وعند

درجة حرارة منخفضة لمنع التحلل إلي الكلور. كذلك فإن مساحة التخزين يلزم أن تكون جيدة التهوية. بالإضافة إلي أن محاليل الكلور يجب أن تكون بعيدة عن ولا تلتصق مع معظم المعادن، حيث للمعادن تساعد علي تحللها.

الكلورة تستخدم علي نطاق واسع في معالجة مياه الشرب أساساً للتطهير. تصميم نظم الاستخدام والقياس والالتصاق لمعالجة المخلفات الخطره يكون مبنيًا علي تقنية التطهير، ولكن، كما في حالة التطهير، في حالة وجود مركبات عضوية معينة فإن استخدام جرعات عالية من الكلور يمكن أن ينتج عنه تكوين مركبات سامة و/أو مسرطنة، مسببة للظفر الوراثي (Mutagenic) مثل مركبات (Chlorohydroxy Furanones, Dichloro acetic Acid, and Chloropicrin) للكلور يمكن استخدامه لأكسدة العديد من المركبات، بما فيها الأمونيا، السلفيد، الكحوليات الكبريتية (Mercaptans). أحد الاستخدامات الهامة للكلور في معالجة المخلفات الخطره هو لأكسدة مخلفات محاليل السيانيد المخففة (أقل من ١٠٠٠ ملجرام/لتر من السيانيد الكلي). خلال الكلورة القلوية، يتم إضافة أيون الهيبوكلورايت إلي المحلول أو إنتاجه في المحلول بإضافة غاز الكلور وأيدروكسيد الصوديوم إلي تتفق للمخلفات. تحدث الأكسدة للسيانيد بعملية من خطوتين.



لتعزيز تكون السيانيد (Cyanate - OCN⁻)، فإن تلك التفاعلات عادة تتم عند رقم هيدروجيني أكبر من ١٠ (pH > 10). كمية الكلور المطلوبة سوف تعتمد علي تركيز المواد الأخرى النشطة، بما فيها للمعادن الثقيلة، والكيمائويات العضوية. نظراً لأن السيانيد ذات سمية معتدلة، فإنه يتم أكسدتها ثانياً لتكوين ثاني أكسيد للكربون وغاز النيتروجين.



نظراً لأن هذا التفاعل بطيئاً عند رقم هيدروجيني مرتفع (pH > 10)، فإن الرقم الهيدروجيني للمحلول عادة يتم خفضه إلي ٨,٥ تقريباً لتسهيل أكسدة السيانيد إلي ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين. كذلك يمكن تدمير السيانيد (Cyanate) بالتحلل الحامضي عند رقم هيدروجيني أقل من ٣ (pH < 3)، ولكن هذه المعالجة تتطلب التعادل قبل الصرف. عموماً، أكسدة الكلور أقل تكلفة عن التحلل الحامضي.

ب. ثاني أكسيد الكلور: (Chlorine Dioxide)

ثاني أكسيد الكلور غاز ذو لون أصفر يميل إلي الإحمرار وهو مفرقع وشديد الإذابة في الماء. بينما يكون مفرقاً عند ضغط جزئي أقل من ٧٠ ملليمتر زئبق، فإنه

يكون آمناً ومستقراً في المحاليل المحتوية علي أقل من ١-٢ جرام/لتر من ثاني أكسيد الكلور.

نظراً لأن غاز ثاني أكسيد الكلور غير مستقر، فإنه يلزم إنتاجه في الموقع. يمكن إنتاج الكلوريتس (Chlorites) في المحاليل شديدة الحموضة بالتفاعل الآتي:



بينما ينتج هذا التفاعل ثاني أكسيد الكلور والكلور بنسبة ٢ : ١، فإن التفاعلات الجانبية تمنع حدوث هذا الشكل وتنتج نسب أعلا من الكلور. يمكن إضافة ثاني أكسيد الكبريت كعامل إختزال لزيادة إنتاجية ثاني أكسيد الكبريت. كذلك يمكن إنتاج ثاني أكسيد الكلور من الكلوريت (Chlorite) إما بعدم التسميب للكلوريت في الوسط الحامضي.



أو بأكسدة الكلوريت باستخدام الكلور

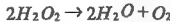


تقريباً يمكن الحصول علي إنتاج كمي من ثاني أكسيد الكلور باستخدام أى من الطريقتين. يجب الحرص عند تحضير ثاني أكسيد الكلور لضمان أن المحاليل ليس لها تركيز يزيد عن حد تركيز الانفجار (٢ جرام/لتر). المحاليل ليس لها تركيز يزيد عن حد تركيز الانفجار (٢ جرام/لتر). المحاليل المخففة لثاني أكسيد الكلور يجب أن يتم تخزينها في بيئة باردة، مظلمة، وحامضية لمنع حدوث التحلل.

ثاني أكسيد الكلور عامل أكسدة قوي ويستخدم كمطهر في كثير من مرافق معالجة المياه. يمكن استخدامه لأكسدة سيانيد الهيدروجين، سيانيدات المعادن، السيانيت، السلفيد، الفينولات، الأمينات. ثاني أكسيد الكلور لا يسبب حدوث استبدال الكلور مع الكيماويات العضوية ولذلك فهو مفضل عن الكلور.

جـ. ثاني أكسيد الهيدروجين: (Hydrogen Peroxide)

ثاني أكسيد الهيدروجين سائل لا لون له ولا طعم وله كلا من قوة الأكسدة العالية وقوة الإختزال الضعيفة. وهو متاح عادة بتركيزات من ٣٠-٧٠%. التركيزات العالية لثاني أكسيد الهيدروجين عالية السمية والإثارة. اختلال التناصب بين الأكسدة والإختزال (Disproportionation) ينتج الماء والأكسجين.



هذا التفاعل بطيء في عدم وجود ملوثات مساعدة فإنه يمكن أن يكون مفرقاً في وجودها. عادة يتم إضافة عوامل تثبيت (Stabilizers) إلي ثاني أكسيد الهيدروجين المتاح تجارياً لزيادة فترة التخزين التي تظل فيها المادة صالحة (Shelf Life). مواد التثبيت

المستخدمة عادة هي أملاح الفوسفات والبيروفسفات، وأملاح القصدير. ثاني أكسيد الهيدروجين يتم حفظه في الظلام لمنع تطله الضوئي.

يمكن استخدام ثاني أكسيد الهيدروجين لإزالة الكحولات الكبريتية (Mercaptans)، الأمينات (Amines)، السيانيد، والرصاص من مياه الصرف. وهو مؤثر خاصة لأكسدة الفينول. ثاني أكسيد الهيدروجين يستخدم عادة مع كيمويات أخرى مثل (Cu(2), Fe(11) والأوزون، أو مع الإشعاع فوق البنفسجي لإنتاج شق (OH). مجموع الحديد وثاني أكسيد الهيدروجين يعرف بعامل فينتون (Fenton's Reagent). تمت معالجة مياه صرف الصناعات النسيجية لإزالة اللون باستخدام عامل فينتون (Ozone H₂O₂), (Uv, H₂O₂). كذلك استخدم عامل فونتون للتحكم في السلفيد في برك التكرير، تسرب الأملاح من الردم الأرضي. في التربة والرواسب وجد أن عامل فونتون أنه مؤكسد للعديد من الملوثات مثل Poly Aromatic Hydro Carbons, Pentachloro Phenol, Octachloro Dibenzo-P-Dioxin.

د. برمنجنات البوتاسيوم:

برمنجنات البوتاسيوم مادة صلبة بلورية مستقرة - غالباً سوداء، وهي شديدة الذوبان في الماء (٦٥ جرام/لتر عند ٢٠°م). المحاليل المائية من برمنجنات البوتاسيوم تكون ذات لون ما بين القرنفي (الأحمر الوردي) والشاحب، طبقاً للتركيز، يمكن إضافة برمنجنات البوتاسيوم في شكل محلول أو في الشكل الجاف، ولكن يتم إضافتها عادة في شكل محلول. لها ميزة أنه من السهل للتغذية بها وإحكامها ولذلك تكون متوافقة مع المرافق التي تستخدمها. يتم حفظ برمنجنات البوتاسيوم في مكان جاف، مظلم، بارد. في مثل هذه الظروف يمكن حفظها إلى ما لا نهاية.

تحلل البرمنجنات بالضوء أو بوجود ثاني أكسيد المنجنيز أو ملوثات أخرى ليس مشكلة إلا في حالة الإنتاج للتحاليل المعملية. المحاليل المائية يتم تخزينها في أوعية من الصلب وليس في أوعية من المطاط أو البلاستيك.

جهد الأكسدة للبرمنجنات يعتمد على الرقم الهيدروجيني (pH). في المحاليل عالية الحموضة، يتم اختزال البرمنجنات من السباعي التكافؤ إلى الثنائي التكافؤ (Mn⁷⁺ To Mn²⁺)، إنتقال خمسة إلكترونات. هذا التفاعل له جهد أكسدة وإختزال (Redox) ١.٥١ فولت، في مجال رقم هيدروجيني من ٣ إلى ١١ فإن البرمنجنات يحدث لها إختزال إلى MnO_{2(s)}. يحدث هذا خلال تفاعل إنتقال ثلاث إلكترونات حيث يكون جهد الأكسدة والاختزال ١.٧ فولت. في حالة للقلوية الشديدة (أكثر من ١٠ جزئ أيدروكسيد بوتاسيوم) يحدث تفاعل إلكترون واحد لتكوين (MnO₄²⁻)، هذا التفاعل ليس هاماً في المجالات الهندسية.

يمكن استخدام برمنجنات البوتاسيوم لتدمير المخلفات العضوية في مياه الصرف. وهو يتفاعل مع (Aldhydes), (Mercaptans), (Phenols) الأحماض العضوية المشبعة، لقد استخدمت كذلك لأكسدة كلا من (Mn(11), (Fe(11)، السلفيد، السيانيد. أحد السليبيات لاستخدام برمنجنات البوتاسيوم، هو أن استخدامها للمعالجة يمكن أن ينتج عنه وجود أملاح المنجنيز في السائل المعالج، تلك الأملاح يمكن أن تكون خطره. كذلك فإن للبرمنجنات عالية التكلفة وتتطلب نسب تكافئية عالية.

هـ الأكسجين: Oxygen

الأكسجين عبارة عن جزئ مكون من ذرتين وهو غاز قليل الذوبان في الماء (٩,٠٨ ملجرام/لتر عند ٢٠°م). وهو آمن وغير مكلف. يتم تداول الأكسجين في شكل غاز يتم استخدام ناشرات الأكسجين، للباقيات، الحقن بالفنشوري أو أبراج التهوية لإمداد غاز الأكسجين إلى مياه الصرف.

الأكسجين يمكن توليده في الموقع من الهواء باستخدام التقطير منخفض درجة الحرارة (التبريد) أو بالانمصاص عند درجة الحرارة العالية/الانمصاص عند الضغط المنخفض. وكذلك يمكن تداوله في الموقع في الحالة السائلة.

الأكسجين يمكنه أكسدة كثيراً من الكيماويات العضوية. ولكن معدل الأكسدة للمواد العضوية منخفض جداً، لذلك فإنه غير مؤثر في أكسدة معظم المركبات العضوية عند درجة الحرارة العادية. يمكن استخدام الأكسجين لأكسدة كيماويات (Mn²⁺), (Fe²⁺) حيث تتوقف الأكسدة في تلك الحالات على الرقم الهيدروجيني (pH). بالنسبة للحديد يجب أن يكون الرقم الهيدروجيني أكبر من (٧)، المنجنيز يتأكسد ببطء مقارنة بالحديد حيث يلزم رقم هيدروجيني (١٠) ليكون المعدل مؤثر.

و. الأوزون: Ozone

الأوزون هو غاز مؤقت الاستقرار، وله رائحة حلوة وقليل الذوبان في الماء وتتوقف إذابته أساساً على درجة الحرارة والضغط الجزئي للغاز. مثل غاز الكلور فإن الأوزون سام ومهيج للأغشية المخاطية. يجب اتخاذ إجراءات الأمان عند العمل بالأوزون. بسبب نشاطه وقدرته للعالية على التفاعل فإنه لا يتم تداوله ولكن يجب إنتاجه في الموقع.

يتم توليد الأوزون بكفاءة باستخدام التفريغ الهالي (Corona Discharge)، تلك التقنية تستخدم الإلكترونات لانشتار جزيئات الأكسجين إلى ذرات والتي تتفاعل مع جزيئات أكسجين أخرى لتكوين الأوزون (O₃). باستخدام الأكسجين يمكن الحصول على ٦% (بالحجم) من الأوزون بسهولة. باستخدام الهواء الجاف كغاز التغذية يمكن الحصول على ٢٠% تقريباً من الأوزون في الهواء. من المهم عند إنتاج الأوزون أن يكون الهواء أو الأكسجين جافاً وذلك عند استخدام تقنية التفريغ الهالي. وجود الماء

ينتج عنه تكوين أكاسيد النيتروجين وشق الأيدروكسيد، وكلاهما يقلل من إنتاج الأوزون. بالإضافة ، فإنه مع الهواء يمكن تكوين حامض النيتريك من أكاسيد النيتروجين مسبباً مشاكل التآكل. كذلك يمكن إنتاج الأوزون بطرق بديلة تشمل الآتي.

(Rediochemical , Electrolytic Generation, Photochemical Generation).

- التوليد الكهركيميائي: يتم توليد تركيزات منخفضة من الأوزون وهذه الطريقة مناسبة للتركيزات المنخفضة.

- التوليد الإلكتروليتي: باستخدام تيار ثابت بفرق جهد منخفض لإنتاج الأوزون بتركيزات عالية في معالجة المياه. حالياً تم تطوير الخلايا الإلكتروليتيّة ذات مقاومة منخفضة ، وأقطاب جديدة والتي تحول التوليد الإلكتروليتي للأوزون طريقة مجدية.

- التوليد بالإشعاع الكيماوي (Radio Chemical): باستخدام الإشعاع عالي الطاقة للأكسجين ولكنه يتطلب معدات معقدة.

الأوزون عامل أكسدة قوي جداً، وهو أقوى من أى مؤكسد يستخدم في معالجة المياه ومياه الصرف. يمكن استخدام الأوزون لأكسدة العديد من المواد العضوية مثل Mercaptans, Chlorinated Olefinic, Phenols, Pesticides, Indoles . يتفاعل الأوزون مع المركبات الأروماتية، كما يتفاعل مع المركبات الأليفين (Olefinic)، معالجة العديد من المركبات غير العضوية بما فيها السيانيدات، الحديد، والمنجنيز تمت باستخدام الأوزون.

في الماء، يتحلل الأوزون لتكوين شق الأيدروكسيد (OH^\cdot)، معدل التحلل يتوقف علي الرقم الهيدروجيني (pH) وتركيزات ونوع الكيماويات والأيونات الموجودة. شق الأيدروكسيد مؤكسد أقوى من الأوزون ويؤكسد كثيراً من المركبات التي لا تتفاعل أو تتفاعل ببطء مع الأوزون.

ر. طرق الأكسدة المتقدمة:

طرق الأكسدة المتقدمة هي تلك التقنيات التي تتضمن توليد شق عالي النشاط وتحديداً هو شق الأيدروكسيد (OH^\cdot) ، عند درجة الحرارة العادية. شق الأيدروكسيد هو مؤكسد شديد القوة وغير إنتقائي، ولكن عمره قصير لذلك فإنه يتم توليده في الموقع وليس بالإمداد كمحلول مركز. شق (OH^\cdot) يمكن توليده باستخدام (الأوزون / H_2O_2) ، (الأوزون / UV) الأوزون / $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ، آلية تفاعلات شق OH^\cdot مع الكيماويات العضوية معقدة والأكسدة يمكن أن تحدث خلال ثلاث طرق. وهي استخلاص وتجريد الهيدروجين من مجموعة ($-\text{CH}_2$)، إضافة شق ، لنقل إلكترون. الشق الثاني المتكون خلال تلك التفاعلات يمكن أن يتفاعل مع أوزون إضافي، ومع واحد آخر، أو مع المركبات المستهدفة. مواد (Organ operoxides) يمكن أن تتكون

بتفاعل شق الكربوناييل Carbonyl (C.) مع الأكسجين الموجود. تلك المركبات يمكنها الدخول في التفاعل المتسلسل متضمناً الأوزون وشق الأيدروكسيد، بما ينتج عنه تكوين شق جديد أو (Superoxides) مركبات أخرى يمكن أن تتفاعل مع الشق الحر المنتج لانتهاء التفاعل المتسلسل.

عوماً آلية التفاعلات المتضمنة شق (OH) ستكون أسرع مقارنة لتلك المتضمنة مؤكسيدات أخرى.

٢. إختزال المخلفات الخطرة: Reduction of Hazardous Wastes

في معالجة المخلفات الصناعية والخطرة استخدم الإختزال أساساً مع الترسيب لإزالة المعادن الثقيلة مثل الكروم والنحاس من تدفقات المخلفات.

مواد الإختزال المستخدمة عادة:

كيمياويات الإختزال المستخدمة عادة هي:

ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، أملاح الكبريت (IV) مثل ملح ($NaHSO_3$)، صوديوم هيبوسلفايت ($Na_2S_2O_4$) Sodium Metabisulfite ($Na_2S_2O_5$) ، المعادن ذات التكافؤ صفر مثل الحديد، أملاح الحديدوز والمستخدم عادة كعوامل إختزال. كذلك يمكن استخدام المركبات الأتية كعوامل إختزال وهي:

Sodium Dithionites Hydrazine , Hydrogen Peroxide.

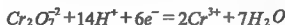
أ. ثاني أكسيد الكبريت وأملاح الكبريت رباعية التكافؤ:

Sulfur Dioxide and S(IV) Salts:

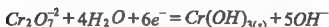
ثاني أكسيد الكبريت هو غاز يسهل تسيله. ومتاح تجارياً في شكل سائل تحت الضغط في أسطوانات أو براميل. قد يضاف ثاني أكسيد الكبريت إلى مياه الصرف أو بإذابة الغاز أولاً في الماء ثم حقن المحلول في مياه الصرف لمعالجتها. لأن ثاني أكسيد الكبريت سام وذو رائحة كريهة، فإن للتفاعلات التي تنتج يجب أن تتم في أوعية مغلقة.

أملاح الكبريت رباعية التكافؤ (17)، سلفيت الصوديوم (Na_2SO_3)، صوديوم باي سلفيت ($NaHSO_3$) يمكن استخدامها كذلك كعناصر إختزال. تلك الكيماويات أسهل في تدولها مقارنة بثاني أكسيد الكبريت، ذلك لأنه ليست هناك حاجة في تعبئتها تحت ضغط، كذلك من السهل إضافتها إلى مياه الصرف إما في شكل أملاح أو في شكل محاليل مركزه، في العمليات الكبيرة للإختزال الكبريتي (Sn/Fonator) بفضل ثاني أكسيد الكبريت من الناحية الاقتصادية وأملاح الكبريت الرباعية (IV) S، للعمليات الصغيرة.

قدرة الاختزال لأملاح (SIV) تتوقف علي الرقم الهيدروجيني (pH). السلفيت (Sulfite) عامل اختزال قوي بينما ثاني أكسيد الكبريت عامل اختزال ضعيف، لذلك، فإن قدرة الاختزال لمحاليل السلفيت تزداد مع زيادة الرقم الهيدروجيني (pH). ولكن اختبار حالات التفاعل لعمليات المعالجة تتوقف كذلك علي تأثير الرقم الهيدروجيني علي السهولة التي يتم بها اختزال المادة الكيماوية المستهدفة فمثلاً، في المحلول الحامضي، يكون من السهل إختزال Cr(VI).



بينما في المحلول القلوي Cr(VI) لا يتم اختزاله بسهولة.



حيث في الحالة الحامضية $E = 1.33$ وفي الحالة القلوية $E = -0.17$ لذلك فإنه يجب الأخذ في الاعتبار التغير في الطاقة الحرة (Free Energy) لتعيين الرقم الهيدروجيني (pH) الذي عنده يكون التفاعل محبباً من ناحية الديناميكا الحرارية (Thermodynamically). في هذه الحالة تكون نشاطات التفاعل محببة أكثر في الحالات الحامضية.

ثاني أكسيد الكبريت أو أملاح S(IV) تستخدم علي نطاق واسع لاختزال Cr(VI). اختزال Cr(VI) إلي Cr(III)، تم ترسيب Cr(III) في شكل أكسيد يستخدم لإزالة الكروم من محاليل الطلاء بالكروم ومياه الصرف الأخرى المحتوية علي Cr(VI). الكروم السداسي (VI) يتم اختزاله تحت الظروف الحامضية، حيث التفاعل بطيء عند رقم هيدروجيني أكبر من 3 ($pH > 3$). بعد خطوة الاختزال، يتم رفع الرقم الهيدروجيني لترسيب أكسيد الكروم الثلاثي Cr(III). كذلك، فإنه نظراً لأن الأكسجين سوف يتفاعل مع (IV)، فإن العملية تكون أكثر كفاءة إذا تم استبعاد الأكسجين من وعاء التفاعل.

أملاح الكبريت رباعية التكافؤ S(IV) يمكن استخدامها لإزالة الكلور أو البرمنجنات من الماء. كذلك يمكن استخدام ثاني أكسيد الكبريت لإزالة السيلينيت (Selenate)، (Tellurate)، باختزالهم إلي شكلهم العنصري. المعدن المترسب يمكن عندئذ إزالته بالترسيب أو بالترشيح.

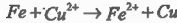
ب. المعادن ذات التكافؤ صفر: Zero Valent Metals

تستخدم المعادن ذات التكافؤ صفر لعدد من المعالجات. الحديد مفضل بسبب انخفاض سعره ولأن المعادن الأخرى يمكن أن ينتج منتجات غير مرغوبه. فمثلاً، Zn يتأكسد إلي Zn^{2+} يكون ساماً، العديد من أشكال الحديد بما فيها مسحوق الحديد، الليف

الفولاذي (Steel Wool) ، برادة الحديد (Iron Fillings)، والحديد الخردة ممكن استخدامه. الحديد يستخدم في بعض عمليات الطلاء المعنني لاختزال الكروم سداسي التكافؤ من أحواض الطلاء الكهربي. التفاعل الذي يحدث هو كالآتي:



كذلك يستخدم الحديد لإزالة أيونات المعدن الأكثر موجبا للشحنة الكهربائية (More Electropositive) من المحلول . فمثلاً الحديد يزيل Cu^{2+} من المحلول.



كذلك يمكن استخدام الحديد لاستعادة الفضة من محاليل التصوير الفوتوغرافي. كذلك استخدام الحديد في استخدامات أخرى متضمنة إزالة ألوان المحاليل المحتوية علي صبغات (Azo Dyes) ولختزال المركبات النيتروجينية الأروماتية (Nitroaromatics) استخدام الحديد لإزالة النترات الزائدة من المياه الجوفية تم اقتراحه كذلك.

في السنين القربية، حدث اهتمام نحو استخدام معدن الحديد لإزالة الهيدروكربونات المكلورة وملوثات أخرى من المياه الجوفية، تم عمل دراسات ريادية باستخدام الحاجز النفاذ المسامي المحتوي علي خليط من الحديد والرمل لإصلاح المياه الجوفية في الموقع. التقديرات الأولية للتكلفة أظهرت أن هذه التقنية يمكن أن تكون أرخص عن استخدامات الضخ والمعالجة، استخدام عامود محتوي علي خليط من الحديد والرمل لمعالجة المياه الجوفية فوق سطح الأرض تم بحثه كذلك.

جـ. كربونات الحديدوز (Ferrous Sulfate)

كبريتات الحديدوز هو الشكل المتاح والمنخفض للتكاليف للحديد Fe(II) ويستخدم كمختزل في عدد من الاستخدامات. بينما أن الحديد هو مختزل ضعيف إلي حد ما إلا أنه مختزل قوي قادر علي اختزال Cr(VI) إلي Cr(III) و Cr(III) إلي Hg(0).

الميزة الرئيسية لكبريتات الحديدوز هي أنها غير مكلفة. في المحلول القلوي يتأكسد Fe(II) بالأكسجين، كما أن كبريتات الحديدوز الصلبة يسهل تخزينها وهي ثابتة نسبياً . العيوب نحو استخدام Fe(II) كعامل اختزال هي أنه، عند أكسدته ، يتم ترسيب Fe(III). وبالتالي فإن العملية ينتج عنها حجم كبير من الحمأة.

د. صوديوم داي ثيونايت : Sodium Dithionite

صوديوم داي ثيونايت ($Na_2S_2O_4$) والمعروف بصوديوم هيدروسلفيت أو صوديوم هيبوسلفيت، عبارة عن مسحوق أبيض الذي يكون مستقرأ عند درجة حرارة الغرفة،

في المحلول المركز يتحلل بسرعة تحت الظروف الحامضية. في المحاليل القلوية، يكون مستقر نسبياً، داي ثيونات عامل اختزال قوي في المحلول القلوي، وحيث يمكنه اختزال Cr(VI) إلى Cr(III) في حالات التعادل أو القلوية، فإنه يفيد في معالجة المخلفات المتعادلة أو القلوية. هذا يجنب الحاجة إلى خفض الرقم الهيدروجيني للمحلول قبل خطوة الاختزال ثم عندئذ لرفعه قبل الصرف.

هـ. الهيدرازين: Hydrazine

الهيدرازين (N_2H_4) هو مختزل قوي، وهو سائل مخزن الذي يحترق في الهواء، بسبب نشاطه التفاعلي العالي فإنه يتم امداده في الشكل المائي (Hydrate) أو ملح. الميزة الرئيسية للهيدرازين مقارنة بعوامل الاختزال الأخرى هي أن ناتج تحلله هو الماء والنيتروجين، لذلك فإن استخدامه لا يزيد من إجمالي المواد الصلبة الذائبة للمياه الجاري معالجتها. يستخدم الهيدرازين في عملية المعالجة بطريقة (Lancy) المستخدمة في معالجة مياه الشطف (Rinse water) من عمليات الطلاء الكهربائي بالنحاس. استخدام الهيدرازين يسمح بإعادة استخدام المياه المعالجة بالشطف الأولي في تلك العملية.

سلبات الهيدرازين هي (١) المتبقي من الهيدرازين بعد استخدامه يمكن أن يمثل مشكلة نظراً لأنه سام (٢) الهيدرازين مكلف نسبياً (٣) بسبب نشاطه العالي وتفاعله يجب الحرص عند تداوله لتجنب الانفجارات. لذلك الأسباب فإن الهيدرازين لا يستخدم على نطاق واسع في عمليات معالجة المخلفات.

و. صوديوم بوروهيدريد : Sodium Borohydride

صوديوم بوروهيدريد ($NaBH_4$) عامل اختزال قوي، وهو يباع تجارياً إما في شكل مسحوق بللوري أبيض أو في شكل محلول بتركيز ١٢% في ٤٠% أيدروكسيد صوديوم. محلول البوروهيدريد يكون في حالة استقرار ولكن يجب للحرص عند تداوله نظراً لكونه كاوياً.

عند رقم هيدروجيني عالي (pH) يكون مستقر في المحلول المائي، ولكن، في حالات التعادل أو الحموضة فإنه يتحلل سريعاً.



نظراً لأن ذلك التفاعل ينتج غاز الهيدروجين، فإنه يجب الحرص نحو تجنب الانفجار. الأوعية المحتوية على محلول البوروهيدريد يجب أن يتم تغفيثها (Vented) بطريقة جيدة.

الاستخدام الرئيسي للبيروكسيد هو لاستعادة المعادن الثمينة، البيروكسيد لا يستخدم كثيراً لمعالجة مياه الصرف المحتوية على معادن سامة ذلك لأن صوديوم بيروكسيد مكلف، بالإضافة إلى أن تصاعد غاز الهيدروجين نتيجة التحلل يسبب حدوث انفجار، كما أن البوريت (Borate) التي تكونت نتيجة التحلل للبيروكسيد غير مرغوب فيها.

ز. ثاني أكسيد الهيدروجين: Hydrogen Peroxide

بينما ثاني أكسيد الهيدروجين يعتبر عادة كمؤكسد إلا أنه في حالات القلوية يكون عامل اختزال ضعيف، أحد المميزات لثاني أكسيد الهيدروجين هي أن ناتج أكسدة هو الأكسجين والماء. لذلك لا توجد زيادة في الأملاح الصلبة المذابة في مياه الصرف المعالجة.

تحت ظروف القلوية العالية pH 7 إلى 8.5 يمكن لثاني أكسيد الهيدروجين اختزال Cr(VI) إلى Cr(III). كذلك يمكن استخدامه لإزالة الفضة من محاليل التصوير الفوتوغرافي.

الخاتمة:

عمليات الأكسدة والاختزال الكيميائي استخدمت لمعالجة العديد من الكيماويات الخطرة. رغم أن الكيماويات قد تكون مكلفة، فإن مثل تلك المعالجة يمكن أن تحقق إزالة الكيماويات المستهدفة من تفتقات مياه الصرف بدون إنتاج مخلفات أخرى كما في حالة التبادل الأيوني أو الكربون المنشط. زيادة القيود نحو صرف الكيماويات السامة في البيئة قد تقيد في التوسع نحو استخدام عمليات الأكسدة والاختزال الكيماوي.

الفصل التاسع عشر

التبخير خارج الغشاء

Pervaporation

19

١. مقدمة:

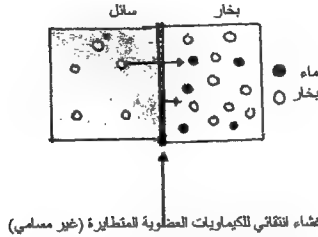
تكنولوجيا الغشاء يمكن استخدامها لفصل تجزئة وتركيز الملوثات أو المكونات. عموماً فهي تتطلب أدنى تغيرات في درجة الحرارة وإضافة كيماوية، وتعمل بطرق إما مستمرة أو على دفعات. وتستخدم طاقة أقل مقارنة بعمليات الفصل التقليدية، ولا تغير البناء الكيميائي للمواد، ويسهل تكاملها مع العمليات الموجودة بسبب حجمها المدمج وطبيعتها. لذلك، فإن استخدام عمليات الفصل الغشائي سوف تصبح ذات أهمية في المستقبل.

معظم التقنيات ذات الأساس الغشائي يمكن أن تستخدم لعمليات الفصل ذات الأهمية البيئية. وتلك تشمل، للتناضح العكسي، الترشيح الغشائي، الترشيح الميكروني، الترشيح بالتقنية الدقيقة (Nano Filtration)، الديالزة الكهربائية، التبخر خارج الغشاء، أغشية السائل، مفاعلات الغشاء، نفاذية البخار (Vapor Permeation). في هذا الفصل سيتم تناول أساسيات التبخر خارج الغشاء وأمثلة لاستخداماته البيئية.

الخلفية:

للتبخير خارج الغشاء هو العملية التي فيها تدفق السائل المحتوي على اثنين أو أكثر من المكونات يتم وضعه ملتصقاً مع أحد أجنابه بغشاء بوليمر غير مسامي، بينما يتم على الجانب الآخر تفريغ أو تصريف غاز. المكونات في تنفقات السائل تمتص في الغشاء، تنتسرب خلال الغشاء، وتتبخر إلى حالة البخار (إذا المصطلح المتبخر خارج الغشاء). هذا موضح في الشكل (١٩/١). المشار إليه كمتسرب يتم عندئذ تكثيفه. بسبب الأنواع المختلفة في خليط للتغذية ذات ألغة مختلفة للغشاء ومعدل تسرب مختلف خلال الغشاء، فإن المكون أو التركيز المنخفض في التغذية يمكن أن يكون غني في النافذ والمتسرب (Permeate)، كذلك فإن مكونات النافذ يمكن أن تختلف كثيراً عن ذلك للبخار المساعد بعد عملية الاتزان للبخار الحر - السائل.

معاملات التركيز تتراوح من رقم فردي إلي ما يزيد عن ألف، طبقاً للمكونات والغشاء وظروف العملية.

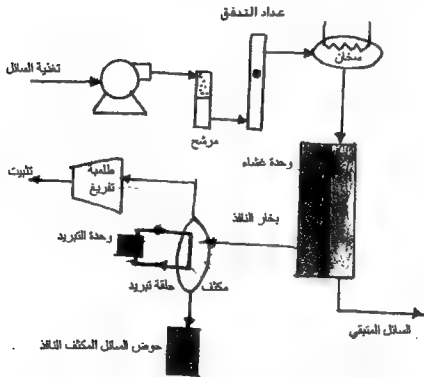


شكل (19/1) مخطط لتمثيل التبخر خارج الغشاء

عمليات التبخر خارج الغشاء استخدمت في الصناعات الكيميائية لتكسير خليط الماء/الكحول (الذي هو خليط ثابت درجة الغليان ، ولا تتغير نسبة تركيبه بالبخار (Azeotropic)، ولعمل الفصل المستهلك للطاقة عند استخدام التقطير.

لقد زاد الاهتمام نحو استخدام هذه التقنية لحل المشاكل البيئية. في كثير من الحالات، كميات قليلة من المركبات العضوية المتطايرة يجب إزالتها من كمية كبيرة من المياه. تقليدياً، المستخدم هو التجريد الهوائي (Air Stripping) أو المعالجة بالكربون المنشط ولكن التجريد بالهواء معرض لحمل الهواء لتلك الملوثات (Fouling) ويحول مشكلة تلوث المياه إلي مشكلة تلوث الهواء ومعالجة للكربون المنشط تتطلب عملية إعادة تنشيط مكلفة وقد لا تكون مناسبة للملوثات العضوية المتطايرة التي يسهل استبدالها بسهولة بواسطة مركبات عضوية أخرى. للمميزات العديدة للتبخير خارج الغشاء هو عدم وجود انبعاثات ضارة أو تكاليف تشغيل (يتم الإزالة المستمرة للكميويات العضوية المتطايرة علي جانب التسرب)، والعملية تقيد من النظام المدمج وقلة تكاليف التشغيل. هذا بالإضافة إلي إعادة أو تدوير المواد العضوية المتطايرة، التي يتم استعادتها، فمثلاً، غشاء ميليلكون بسمك ١٠٠ ميكرومتر (100-Mm) استخدم لتركيز ١٠٠ جزء في المليون (٠.٠١ % بالوزن) لتفككات (TCA-1.1.1 Trichloroethane)

المائية إلي ما يزيد عن ١٠% بالوزن من (TCA) في المتسرب (Permeate) فسي تترك الحالات يتكون المتسرب من مجال (TCA)، ومجال الماء المشبع بـ (TCA) بما يسمح بالتكوير والاستخدام السهل لـ (TCA). مجال الماء المتسرب يتم عودته إلي تدفق التغذية للمعالجة التالية، نتيجة لذلك التفتيقين الاثنان للذان يتركان هذه العملية سيكون تدفق (TCA) النقي وتدفق الماء الخالي من الكيماويات العضوية المتطايرة (VOC'S). مخطط لجهاز التبخير خارج الغشاء موضح في الشكل (١٩/٢).



شكل (١٩/٢) مخطط لنظام التبخير خارج الغشاء

في التبخير خارج الغشاء يكون أحياناً شكل الغشاء غير صحيح كما (Absorbent) الذي يصبح مشبعاً ويجب إعادة تنشيطه في دورة منفصلة، في الواقع، التفريغ أو صرف الغاز (Gas Purge) علي جانب الممسرب ينشط الغشاء باستمرار.

لذلك، فإن التبخير خارج الغشاء يمكن عمله كعملية مستمرة ومستقرة. مفهوم خاطئ آخر هو أن التبخير خارج الغشاء يكون عملية ترشيح. التبخير خارج الغشاء لا يستخدم لفصل الجسيمات من الماء، وبالأصح، فإنه يزيل المكونات المذابة من محلول للسائل، كذلك نظراً لأن التبخير خارج الغشاء يكون ذو غشاء غير نفاذ فإن معظم

سائل التغذية يتدفق متجاوزاً الغشاء وليس خلاله. جزء صغير فقط من التغذية يتسرب خلال الغشاء. نتيجة لذلك، فإن أغشية التبخّر خارج الغشاء لا تعاني من نفس مشاكل أوساخ مترسبة (Fouling). التي تؤثر على مرشحات الغشاء التقليدية. في حالة حدوث أوساخ مترسبة في نظام التبخّر خارج الغشاء فإنه يكون محتمل مثل مشكلة الإسداد لمعيار التدفق ليتجاوز الغشاء، وليس تراكم مواد الترسيبات على سطح الغشاء.

اعتبارات التصميم:

عند التفكير في استخدام التبخّر خارج الغشاء لفصل المكونات في تدفقات السائل، فإنه يلزم تقييم عدة عمليات. العامل الهام هو الحالة المطلوبة وخواص السائل المعالج والمتسرب للزّام إنتاجه، الأسئلة التي يجب إجابتها بالنسبة لتلك السوائل تشمل:

- ما هي المكونات ومجال التركيزات في سائل التغذية؟
- ما هو الاستخدام المستهدف لسائل التغذية المعالج (التخلص، إعادة الاستخدام، إعادة المعالجة)؟
- ما هو الاستخدام المستهدف للنافذ أو المختزن (Permeate) (التخلص، إعادة الاستخدام، إعادة المعالجة)؟
- ما هي أدنى خواص السائل المعالج والنافذ الذي يجعل الاستخدام المستهدف ممكناً؟
- هل يوجد حل ممكن أكثر اعتدالاً من الناحية البيئية؟ مثلاً، إذا كانت النهاية للنافذ (المتسرب) الأصلي هي التخلص، ما هو تغيير الخاصية ليسمح لتلك المادة بإعادة الاستخدام أو قبولها للإصلاح.

الأمر الآخر هو إذا كان التبخّر خارج الغشاء يمكنه حقيقة فصل مكونات التغذية. التبخّر خارج الغشاء يعمل جيداً عندما يكون المركب المطلوب إزالته له ضغط بخار عالي بالنسبة للمادة الخلفية وإذابة منخفضة في المادة الخلفية. بالنسبة للمحاليل المائية، يكون عموماً ثابت قانون هنري (Henry's Law Constant) الذي يحدد ما إذا كان المركب يمكن إزالته بطريقة مباشرة بواسطة التبخّر خارج الغشاء، ثابت قانون هنري يمثل تقسيم المركبات العضوية في النظام المائي. فمثلاً، الميثانول النقي، (TCA) لهما ضغط بخار متشابه عند درجة حرارة الغرفة، ولكن نظراً لأن الميثانول شديد التوافق

مع الماء، فإن ثابت قانون هنري للميثانول يكون أقل كثيراً عنه لـ (TCA). كذلك، مادة الغشاء الغروانية غير الأليفة للماء (Hydrophobic) مثل مطاط السيليكون سوف تفضل المركب الأكثر غروانية، TCA. نتيجة لذلك، بينما أن معامل الفصل لمادة (TCA) من الماء يمكن أن يكون في حدود ١٠٠، فإن معامل الفصل للميثانول من الماء يكون في حدود ١٠ أو أقل. هذا لا يعني أن التبخر خارج الغشاء لا يمكن استخدامه لفصل الميثانول - الماء، فقط أنه من الأسهل إزالة (TCA) من الماء. الجدول (١٩/١) يحتوي علي تقييم لقدرة للتبخّر خارج الغشاء لفصل المركبات العضوية من الماء. في التبخر خارج الغشاء فإن القانون العام ينطبق وهو كلما كانت المكونات غير متشابهة كلما كان من السهل فصلها.

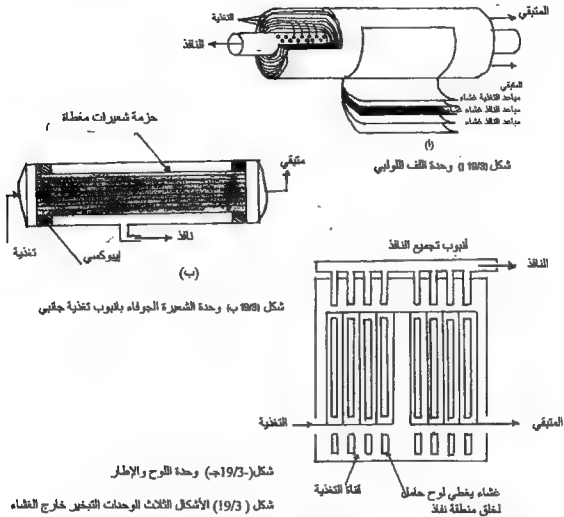
جدول (١٩/١) معاملات الفصل لمختلف المركبات العضوية من الماء

معامل الفصل النسبي	المركبات العضوية
أقل من ١٠٠	بنزين، تولوين، أكزايلين، تري كلوروايثان، فينيل كلورايد، تري كلوروايثيلين، كلوروفورم، ميثيلين كلورايد
من ١٠ إلي ١٠٠	إيثيل أسيتيت، بروبانون، بيوتانون، أسيتون، ميثيل إيثيل كيتون.
من ١٠ إلي ١٠٠	ميثانول، إيثانول، فينول، أسيتالدهايد.
صفر إلي ٥	حامض أسيتيك، إيثيلين جليكول، داي ميثايل فورمالدهايد.

لفصل المركبات العضوية من الماء، المستخدم عادة مطاط السيليكون. (Silicone Rubber). للحالة للعكسية، إزالة الماء من المجال العضوي للمتاح هو أغشية بولي فينيل الكحول (PVA) وكذلك، الأغشية السيليلوزية في وحدات التبخر خارج الغشاء. متغير آخر نحو اختبار مادة للغشاء هو ما إذا كان المستخدم هو الغشاء من طبقة واحدة أو من عدة طبقات. في الأغشية ذات الطبقة الواحدة يتكون الغشاء من مادة واحدة، بوليمر متجانس غير مماسي. ولأسوء لاحظ فإن مادة للغشاء ذات الإنتقائية المطلوبة قد يتطلب سمكاً كبيراً لتوصيل الخواص الطبيعية المطلوبة مثل ضغط الإنفلاق (Burst Pressure) هذا السمك الكبير سوف يؤثر بالملب علي مكون التدفق (Flux).

في محاولة ، للحصول علي القوة الطبيعية الضرورية مع فوق تدفق مناسبة خلال الغشاء، فقد تم تطوير أغشية مركبة أو متعددة الطبقات. في هذه الحالة، يمكن وضع طبقة من مطاط السيليكون الرقيق أعلا غشاء البولي بروبيلين الشبه مسامي. بهذه الطريقة، يمكن ضبط سمك الطبقة النشطة مثل ميكروونات فردية إلي عدة مئات من الميكروونات ، بما يسمح للمصمم الحصول علي أفضل تدفق/ إنتقائية لاستخدام معين.

نماذج التبخر خارج الغشاء التجارية توجد في ثلاثة أشكال، لكل مميزاته وسليباته. تلك الثلاثة هي اللف للحزوني (Spiral-Wound)، الشعيرة الجوفاء (Hollow Fibr)، والإطار واللوح (Plate and Frame). في أشكال اللف للحزوني يتم درجة غلاف من الغشاء المستوي أو مجموعة من الأغلفة في شكل اسطوانة كما هو موضح في الشكل (١٩ / ٣). الغلاف يتكون من لوحين من الأغشية، ملحومين من ثلاثة أطراف، داخل الغلاف يكون جانب التسرب أو المحترق، فاصل مباعده (Spacer) الرقيق المسامي داخل الغلاف يحافظ علي الانفصال بين كلا الصفحتين (2Sheets). الطرف المفتوح للغلاف يتم لحامه مع أنبوب، الذي يتم استخدام التفريغ عنده. مباعده أخرى يتم وضعها علي قمة الغلاف قبل درجته (Rolled)، حيث يتم خلق مسار التدفق لسائل التغذية، مبادئ التغذية هذا يسبب اضطراب بسبب تموج مسار التدفق الذي يعمل علي اضطراب الطبقة الخارجية للسائل بما يعزز معدل انتقال كتلة جانب السائل. بهذه الطريقة يمكن احتجاز (Housing) مساحة غشاء معقولة في نسق (Module) مناسب.



أحد السليبيات هو طول مسار المتخلل أو النفاذ (Permeate). الجزء الذي يدخل غلاف النفاذ بعيداً من مصدر التفريغ يجب أن تلتف حلزونياً في الداخل عدة أقدام. طبقاً لطول المسار، تصميم آلة المبعاد (Spacer) وتدفق النفاذ (Permeate Flux)، فإنه يمكن ملاقة انخفاض كبير في الضغط في جانب النفاذ.

في الشكل الثاني، يتم تجميع حزم من أنابيب البوليمر صغيرة القطر لخلق وحدة مفرغة من الشعيرات مثل المبادل الحراري من الغلاف والأنبوب شكل (19/3-ب).

تلك الوحدات (Modules) يمكن أن تكون مشكلة لتدفق المسائل علي جانب الأنبوب (داخل الشعيرات الجوفاء) والتفريغ علي جانب الغلاف أو العكس صحيح. تلك الأنابيب ذات قطر في حدود ١٠٠ ميكرون.

نتيجة لذلك، فإن لها مساحة سطحية كبيرة نسبة إلى الحجم، هذا يجعل من الممكن إنشاء وحدات مدمجة ذات مساحات سطحية عالية.

الشكل الثالث، اللوح والإطار هو مجرد وضع ألواح مستوية من الغشاء بين آلات المبادعة للتغذية (Feed Spacers) وآلات المبادعة للنافذ (Permeate). قنوات التغذية والنافذ تكون معزولة عن بعضها البعض باستخدام أغشية مستوية والإطارات القوية شكل (١٩/٣-ج). وحدة اللوح والإطار الواحدة يمكن استخدامها لاختبار أغشية مختلفة بواسطة مقايضة أفرخ الغشاء المستوية. كذلك فإنه يسمح باستخدام مواد الغشاء، الذي لا يمكن إنتاجها تقليدياً كمغبرات جوفاء أو عناصر الف الحزوني، أحد السلبات هي أن نسبة مساحة الغشاء إلى حجم الوحدة يكون منخفضاً مقارنة بنماذج الف الحزوني أو الشعيرة للجوفاء السلبية الثانية هي للتكلفة العالية لإنشاء الإطار.

لأي من تلك النماذج الثلاثة، فإن متغيرات العملية الطبيعية ذات التأثير على أداء النظام وأغلبها هو درجة حرارة السائل، مستوي تفرغ النافذ، معدل تدفق السائل. تعيين أفضل نقاط العقد (Set Points) لتلك المتغيرات يتطلب تفهم عمليات حدود المعدل وكذلك مكونات المنتج المطلوبة. كما تم توضيحه سابقاً، إزالة المركبات العضوية المتطايرة (VOCs) من المياه يكون عادة محدوداً بواسطة مقاومة الانتقال لطبقة التماس للسائل والكتلة. في هذه الحالة، زيادة درجة الحرارة سوف يعزز تدفق المركب العضوي المتطاير خلال معامل تسرب أعلا، ولكن سوف يزيد كذلك تدفق الماء بسبب تأثير درجة الحرارة على ضغط بخار الماء، النتيجة هو تحسن متواضع في معدلات الإزالة للكيميائيات العضوية المتطايرة ولكن النافذ مخفف أكثر (محتوي مياه أعلا). زيادة معدل تدفق السائل سوف لا تغير كثيراً تدفق الماء في هذه الحالة، ولكن سوف تزيد معاملات الانتقال لكتلة المركب العضوي المتطاير في طبقة التخوم (التدفق الأعلا ينتج عنه زيادة تركيز المتبقي من المادة العضوية المتطايرة).

المعالجة بالأوزون

Ozonation

20

١. مقدمة:

١. إنتاج الأوزون وكيفية استخدامه:

يتم إنتاج الأوزون عند إحداث جهد (فولت) عالي عبر فجوة تفريغ في وجود الأكسجين، أو الغاز المحتوي على الأكسجين. الميزة الرئيسية للأوزون هو أنه يمكن توليده في الموقع من الهواء أو الأكسجين واستخدامه في الحال وهذا يجنب مشاكل التخزين والتداول التي عادة ما تصاحب المؤكسدات التقليدية.

خلال السنين القليلة الماضية، تم تصميم معظم نظم الأوزون الجديدة لاستخدام الأكسجين كغاز حامل (Carrier Gas). غاز الأكسجين الحامل ينتج عنه مولدات أوزون ومعدة إضافية أصغر للمكافئ من كمية مولدات الأوزون باستخدام الهواء الحامل للغاز. بالإضافة إلى أن المساحة المطلوبة لنظام تحضير الهواء يتم الإستغناء عنها. زيادة كفاءة إنتاج الأوزون وكذلك زيادة كفاءة لنقل الغاز (انخفاض نسب الغاز إلى السائل) تعتبر مميزات إضافية نحو استخدام الأكسجين كغاز حامل.

الأوزون يستخدم كغاز في المجال العادي للتركيزات كالآتي:

الغاز الحامل	نسبة الأوزون بالوزن 03%	جرام / ^٣ م	رطل / قدم مكعب
الهواء	٣-١	٣٦-١٢	٠,٠٠٢٢-٠,٠٠٠٧٤
الأكسجين	١٠٠-٥	١٢٠-٦٠	٠,٠٠٧٤-٠,٠٠٣٧

استخدامات الأوزون في الماء، مياه الصرف، الهواء:

استخدم الأوزون لمدة تزيد عن ٨٥ عاماً، أساساً في تطهير مياه الشرب المنزلي، أول محطة لمعالجة المياه بالأوزون أنشئت منذ ٥٠ عاماً في الولايات المتحدة لإزالة اللون، الرائحة والمذاق. حالياً، يوجد ما يزيد عن ١٢٠٠ محطة مياه مستخدمة الأوزون للتطهير وإزالة اللون والمذاق، وكذلك حوالي ٦٠ محطة لمعالجة مياه الصرف في

جميع أنحاء العالم. بالإضافة إلي أن نظم الأوزون زائد الأشعة فوق البنفسجية و/أو الكربون المنشط لمنع تكوين التراي هالوميثان وإزالة المركبات العضوية المهلجنة من مياه الشرب تعمل في كثير من دول العالم.

قوة الأكسدة للأوزون تعني أنه يمكنه التفاعل سريعاً مع عدد كبير من المركبات العضوية ويمكنه تدمير وقتل البكتيريا والفيروسات، والعديد من الطفيليات.

نظم الأوزون لمقاومة اللون والرائحة استخدمت أساساً لمعالجة كبريتيد الهيدروجين (H_2S) والكحولات الكبريتية (Mercaptans) من محطات معالجة المياه المنزلية والصناعية، معظم الرائحة تكون من المركبات العضوية، للكثير منها يكون قابلاً للأكسدة تحت الظروف المحكمة. الأوزون يمكن إمداده مباشرة إلي تدفقات الغاز (الأكسدة الجافة) إذا تم عمل الخلط الكافي (الأوزون مع جزيئات الرائحة) وزمن التفاعل (يزيد عن خمسة ثوان). نظم الأكسدة الرطبة تجمع الأوزون مع أجهزة غسيل الغاز (Scrubbers)، باستخدام الضبط للرقم الهيدروجيني (pH) الحامضي و/أو القلوي.

إزالة العديد من الروائح العضوية . معدة الرصد أو التحكم تستخدم للإحساس بوجود الأوزون في الغاز المعالج أو للضبط الآلي للأوزون الدخول إلي النظام. كثيراً من النظم تستخدم للحرارة، غرفة العامل الوسيط، أو الكربون كمعالجة نهائية للغاز العادم لتأكيد عدم وجود أوزون يتم صرفه في البيئة.

- التفاعلات العضوية أو غير العضوية:

بعض معالجات الأكسدة الكيماوية المستخدمة للأوزون هي تلك لتحلل السيانيد، الفينول، الأحماض العضوية، الكريزول، الإكزليلول، الألدهايدز، الميركبتينز (Mercaptans) أي للكحولات الكبريتية)، كبريتيد الهيدروجين ، النيتريد (Nitride)، الحديد والمنجنيز. العديد من الصناعات الدوائية والكيماوية تستخدم الأوزون لأكسدة المواد العضوية بهدف إنتاج منتجات جديدة.

الأكسدة الكاملة للملوثات العضوية إلي غاز للنيتروجين وثاني أكسيد الكربون يمكن الحصول عليها مع بعض المركبات عند استخدام الجرعات الكافية من الأوزون والوقت الكافي للتفاعل، ولكن، معظم المركبات تكون مركبات ومسيطة في بعض الحالات ويصعب أكسدتها، ولذلك بسبب تعقيدات المخلفات العضوية الخطرة فإنه يمكن عمل اختبارات الجدوي للمعملية أو الريادية وذلك قبل تصميم وحدة الأكسدة بالأوزون. الأوزون، الأشعة فوق البنفسجية، ثاني أكسيد الهيدروجين تم استخدامهم لتدمير مياه للصرف الصناعي المحتوية علي مواد عضوية، أروماتية، أليفاتية، ومركبات

عضوية مكسورة، (Aliphatic Amines)، Ketones، Alcohols. باستخدام الأوزون والأشعة فوق البنفسجية (UV) ثم إزالة السمية بنسبة تزيد عن ٩٩% لأربع أنواع من المبيدات (and Malathion, PCB, PCP, DDT). تحلل الأوزون المائي ينتج شق الأيدروكسيد الذي يتفاعل مع المواد العضوية وغير العضوية للمذاية، الأوزون يتفاعل سريعاً مع المواد العضوية القابلة للأكسدة مثل الحديدوز، كبريتيد الهيدروجين، الأيويديد، وأيونات النيتريت (Nitrite). بعض المواد العضوية تتفاعل تحت ظروف معينة (مثل ضبط الرقم الهيدروجيني) أو عند معدلات بطيئة (المنجنيز). نظرياً يلزم من ٠,٤ و ٢,٢ ملجرام O_3 للتفاعل مع ١ ملجرام من الحديد والمنجنيز علي التوالي. النظم المصممة لمعالجة تلك المعادن عادة تستخدم ٠,٩٠٠,٥ ملجرام أوزون لكل واحد ملجرام من المعدن علي التوالي.

٢. تكنولوجيا الأوزون:

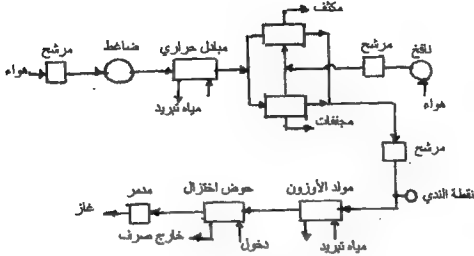
أ. جهد الأكسدة:

الأوزون غاز غير مستقر نسبياً يتكون من ثلاث ذرات لكل جزئ (O_3) وهو واحد من أقوي عوامل الأكسدة المعروفة. يمكن استبداله بالمؤكسدات التقليدية مثل الكلور، ثاني أكسيد الهيدروجين، برمنجنات البوتاسيوم. قوة الأكسدة النسبية للأوزون، حامض الهيپوكلوريس، والكلور هي ٢,٠٧، ١,٥، ١,٤، ٧ علي التوالي. تلك المؤكسدات تم استخدامها لمعالجة كلا من الملوثات العضوية وغير العضوية الخطره.

معدة إنتاج الأوزون:

مولدات الأوزون أساساً كفاءتها ضعيفة نظراً لأن معظم الطاقة تنفق في شكل حرارة، ضوء، وصوت. للتبريد غير الكفو والهواء الرطب يعتبر ضاراً لتوليد الأوزون وهو كذلك عوائق علي المعدة. الشكل (١/ ٢٠) يوضح مراحل عملية توليد الأوزون.

يتم ترشيح الهواء المسحوب وتجفيفه إلي نقطة الندى إلي ما لا يقل عن -٤,٥°م (-٥٠°فهرنهايت). أحد المجففات يتجدد (٤ إلي ٨ ساعة) بينما مجفف الهواء الثاني يكون في التشغيل. يتم ترشيح الهواء ثانياً إلي أقل من واحد ميكرومتر قبل الدخول إلي مولد الأوزون. الهواء لتجديد المجفف يتم كذلك ترشيحه. الأكسجين الذي تتم تغذيته مباشرة إلي مولد الأوزون يوفر الحاجة إلي نظام إعداد الهواء. يمكن استخدام الإمداد بالأكسجين في شكل الأكسجين للمائل أو باستخدام ماص للضغط المتأرجح (Pressure Swing Absorber).



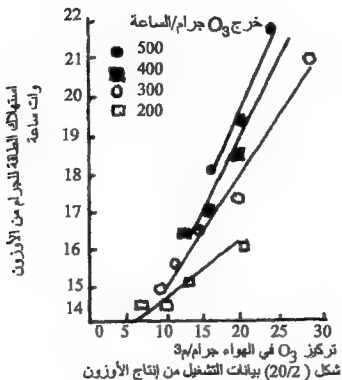
شكل (20/1) نظام إنتاج الأوزون

العلاقة بين متطلبات الطاقة إلي إنتاج الأوزون وتركيزه:

الشكل (٢٠/٢) يوضح البيانات التي تم الحصول عليها لجهاز إنتاج الأوزون (Azonator) مصمم لتوليد ٤٨٠ جرام/الساعة عند تركيز ١,٥ % بالوزن متطلبات الطاقة تزداد مع زيادة التركيز لإنتاج معين من الأوزون، لو أن التركيز يظل ثابتاً ويزداد إنتاج الأوزون. للتغير في تلك البدائل يتم الحصول عليها بالتغيرات في تدفق الغاز أو استخدام الطاقة. إنتاج الأوزون في حالة التغذية بغاز الأكسجين يعادل تقريباً أكثر من الضعف في حالة التغذية بالهواء عند نفس الطاقة وتدفق الغاز. متطلبات الطاقة لتوليد الأكسجين يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند مقارنة تكاليف التشغيل. تقريباً من ١٦ إلي ١٩ وات ساعة/الجرام (من ٧,٣-٨,٦ كيلوات ساعة/الرطل) يلزم لتوليد الأوزون (متوسط الطاقة بما فيها تجفيف الهواء) من تغذية الهواء. بالمثل يلزم حوالي ٨ وات ساعة /جرام (٣,٦ كيلوات ساعة/الرطل) لتوليد الأوزون عند تركيز ١٠ % بالوزن باستخدام الأكسجين السائل كغاز حامل.

نظم حقن وخط الأوزون:

كفاءة استخدام أو انتقال الأوزون تتحدد بعدد من العوامل مثل خصائص مياه الصرف، الحركية (Kinetics)، الرقم الهيدروجيني pH، درجة الحرارة. الكفاءة العالية يتم الحصول عليها مع مفاعلات من نوع انتقال المادة، نسب منخفضة بين الغاز إلي السائل (الموصي به أقل من واحد) تركيزات الأوزون العالية، وصغر حجم الفقاعات، الذي ينتج عنه زيادة المساحة السطحية لحجم معين من الغاز.



استخدام الناشرات النوع المتقلب (من السيراميك لو من الصلب المقاوم) في الخزانات عند أعماق من ٣ إلى ٦ متر (١٠ إلى ٢٠ قدم) مع تنفق معاكس هي أفضل تقنية لحقن الأوزون. الخزانات الأكثر عمقا من الطبيعي أنها تريد من انتقال الأوزون. الحافقات من النوع التريبيني توفر زيادة في سرعة انتقال الأوزون بسبب زيادة الاضطراب وعموماً تتطلب خزانات أصغر (عمق أقل) ولكن زيادة في طاقة للتشغيل. الأعمدة المحشوة (Packed Columns) أنابيب الفنشوري، وتجهيزات أخرى تم استخدامها. لمعالجة الغازات للخارج الحاملة للأوزون الزائد تم استخدام درجة الحرارة العالية، واستخدام المحفزات أو مجموعتهما معاً.

اعتبارات الأمان:

عند التركيزات العالية يكون غاز الأوزون ساماً. نظراً لأن الأوزون يتم توليده في الموقع ويستخدم في الحال، فإن الامداد بالأوزون يمكن إيقافه بتحويل الطاقة الكهربائية.

التعرض لتركيزات الأوزون من ١ إلى ٧٥ جزء في المليون بالحجم لمدة عشرة دقائق يعتبر غير ضار، عند هذه المرحلة من التركيز، معظم الناس سوف تبدأ الشعور بالحساسية في الجيوب الأنفية، بما يوفر التحذير نحو المستوي المنخفض للسمية. أجهزة التحذير بالأوزون التي تعطي الإنذارات متاحة وتستخدم مع معظم إنتاج الأوزون.

المميزات والعيوب:

بعض مميزات استخدام الأوزون تشمل:

- التوليد في الموقع من الهواء أو الأكسجين، يستخدم في الحال بدون تخزين أو تداول للمؤكسدات القوية، توقف للتوليد بإيقاف الطاقة، يحتاج إلى صيانة قليلة.
- مؤكسد قوي جداً، يتفاعل مع العديد من المواد العضوية، يتفاعل مع المواد غير العضوية بما فيها المعادن، لا يكون مواد عضوية مكلورة، المتبقي يتفاعل مع المكونات أو يتحول ثانياً إلى الأكسجين، قصر زمن التفاعل في حالة الخلط الجيد، (مساحة صغيرة العملية)، معدل منخفض للجرعة مقارنة بالمؤكسدات الأخرى، تجعل بعض المواد العضوية المنبعة أكثر قابلية للتحلل البيولوجي.
- درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني أقل تأثيراً مقارنة بالمؤكسدات الأخرى، السائل المعالج يكون غنياً بالأكسجين.

بعض العيوب:

- تكلفة رأسمالية أعلا مقارنة بنظم المؤكسد الآخر، تكلفة التشغيل تعتمد على تكلفة الطاقة الكهربائية.
- لا يعمل على تحلل المواد العضوية المكلورة ذات الوزن الجزيئي المنخفض، ويجب معالجة الغاز العادم في حالة وجود الأوزون.
- المؤكسد المتبقي (الأوزون) أساساً غير موجود.

مواد الإنشاء:

يجب الأداء الهندسي الجيد عند تصميم نظم الأوزون. الأجزاء التي لا تلتصق بالأوزون يجب أن تصمم طبقاً للمعايير العادية. مولدات الأوزون ومواسير الخروج تصنع من الصلب المقاوم، رغم أن بعض الأجزاء يمكن أن يصنع من (PVC) النوع (II) وذلك فقط في حالة نظام التغذية بالهواء. مواد العزل الكهربائي يتم صنعها عادة من الزجاج عالي العزل والأقطاب تكون من سبائك الصلب المقاوم أو من سبائك الألومنيوم. اللحامات يمكن أن تكون من التيفلون والإيثيلين بولي بروبيلين أو مطاط السيليكون. عادة تصنع أوعية التفاعل من الصلب المقاوم، الخرسانة، الصوف الزجاجي أو (PVC). بعض المواد التي يجب تجنبها تشمل المطاط الطبيعي، نوع (II) PVC، النحاس، النحاس الأصفر (Brass)، البرونز، الصلب المجلفن.

الضغط، درجة الحرارة، نقطة الندى:

بيانات التصميم الآتية تزيد من إنتاج وتوليد الأوزون:

- الغاز الداخل يكون شديد الجفاف - ٤,٥ °م (-٥٠ °فهرنهايت) نقطة ندى، أو أكسجين.

• الغاز الداخل يكون عند درجة حرارة منخفضة ٤ (٤٠ °فهرنهايت).

- تدفق كافي لمياه التبريد. ٢ لتر / جرام أوزون) (٢٤٠ جالون علي الرطل للأوزون) عند ١٦ م (٦٠ فهرنهايت) أو أقل.
- مادة ذات مقاومة كهربية عالية ذات أدني سمك للجدار.
- نسبة حرجة لعرض فتحة للتصريف مع الضغط.
- جهد عالي وتردد عالي.
- التأثيرات البيئية:

الهواء:

كل نظم الأوزون يجب أن تشمل نظام التكمير للأوزون وذلك لمنع الأوزون الزائد من الوصول إلي البيئة من النظم الهوائية المصممة لمقاومة الرائحة يجب أن توفر الأوزون الكافي ليتفاعل مع الملوث وكذلك الخلط المضطرب ووقت للتفاعل الكافي. التركيز الزائد من الأوزون المتصرف إلي البيئة يكون عدوانياً للمكونات الكهربائية والمعادن وهو منمر لأوراق النباتات.

الماء والمنتجات:

الأوزون يتفاعل مع معظم المواد القابلة للأكسدة في النظم المائية، لذلك فإن الجرعة الزائدة قليلاً من الأوزون يتم حقنها في النظم المائية لتوفير المتبقي من الأوزون. في حالة زيادة الأوزون المضاف فإن الغاز الخارج من المفاعل سوف يحتوي علي الأوزون، الأوزون المتبقي الذي لم يتفاعل سوف يتحول ثانياً إلي الأكسجين في فترة زمنية صغيرة.

دراسات حالة:

أ. تدمير السيانيد:

الأوزون مؤكسد أقوى من الكلور، جزئين أو ثلاثة من الأوزون فقط تلزم للأكسدة السريعة لجزء واحد من السيانيد، الأوزون يتم توليده في الموقع من الهواء أو من الأكسجين ويستخدم في الحال. هذا التدمير السريع للسيانيد بواسطة الأوزون أظهر أن هناك تفاعلاً آخر بطيء وهو أكسدة السيانيد (Cyanate) إلي البيكربونات، الأمونيا، النيتروجين، الأكسجين.

نسب الأوزون إلي السيانيد ومعدلات التفاعل سوف تتغير مع تغير تركيز السيانيد وكذلك الاختلافات في كميات المعادن (النحاس ، الحديد، الكاديوم، الزنك) الموجود في مخلفات الطلاء المعدني. العوامل الأخرى ذات التأثير علي معدل التفاعل هي الرقم الهيدروجيني، درجة الحرارة ، وتركيز الأوزون.

الفرق بين السيانيد الحر والسيانيد الكلي بعد المعالجة بالأوزون يمكن أن يكون له علاقة إلى وجود المعقد من المعادن الثقيلة، بعد أكسدة السيانيد الحر فإن الحقن الإضافي للأوزون يؤكد السيانيد (Cyanates) ويرسب المعادن الثقيلة، الترسيب و/أو الترشيح يمكنه إزالة للكمية النهائية من إجمالي السيانيد وخفض تركيزات المعادن الثقيلة في السائل للمعالج.

ب. مياه صرف الصناعات النسيجية:

نظراً لاحتوائها على العديد من الصبغات العضوية والإضافات الكيماوية، فإن مياه صرف صبغات النسيج تكون معقدة جداً ويصعب معالجتها وتشمل عمليات المعالجة لمياه صرف النسيج، العمليات البيولوجية، الترسيب، الترويب، الكيماوي، والترغيب بالممرات، الكربون المنشط، وحثاً الأوزون. واحد أو أكثر من تلك العمليات يمكن استخدامه لمعالجة مياه صرف للصناعات النسيجية. اختبار العملية يتوقف على نوع وتركيز مخلفات الصبغة وكذلك نوعية مياه الصرف المقرر صرفها طبقاً لمعايير الصرف. الأوزون مع ثاني أكسيد الهيدروجين أو الأشعة فوق البنفسجية استخدام لإزالة اللون من مياه الصرف يجب استخدام تجارب عملية أو زيادة لتعيين كفاءة وجدوي المعالج.

تم إقامة وحدة ريادية متحركة لمعالجة مياه صرف للمنسوجات في عدة مصانع. في أحد المصانع استخدم الترويب الكيماوي للحصول على درجات مختلفة من نوعية المنتج. من المعتم إلى البللوري الرائق. الهدف كان إعادة للتدوير وليس الصرف لمياه الصرف. تم عمل عشرون اختبار مع ثمانية أنواع مختلفة من الصبغات وإعاقة للتدوير لمياه الصرف بنسبة ١٠٠%. الأوزون كان المعالجة الوحيدة. تم إضافة الماء النقي لتعويض البخار لنظام المياه الحلقي المغلق، تم خفض الكيماويات المضافة خلال تدوير مرحلة الصباغة بنسبة ٧٥%. تم توفير الطاقة نتيجة لمعالجة المياه وعودتها إلى النظام عند ٦٠ إلى ٦٦م (١٤٠ إلى ١٥٠ فهرنهايت) بينما الامداد بالمياه العذبة كان عند ٢٠م (٦٨ فهرنهايت). المنتجات التي تم صباغتها كانت مقبولة.

التبخير

Evaporation

21

١. مقدمة:

استخدم التبخير لمدة طويلة كعملية صناعية للعديد من المنتجات في مجال الصناعات الكيميائية. بالإضافة إلى أنه يستخدم لمعالجة المخلفات الخطره مثل السوائل المشعة والحماة، ومخلفات الطلاء المعدني والمخلفات العضوية وغير العضوية الأخرى، في الصناعات المنتجة لأحجام كبيرة من المخلفات السائلة المائية ذات محتويات خطره مخففة، فإن التبخير يمكن استخدامه لتركيز تدفقات المخلفات للمعالجة الإضافية أو النقل خارج الموقع. لهذا السبب فإن العديد من المناقشات التي نتعامل مع التبخير كعملية تركيز التي تستخدم أساساً لخفض حجم المخلفات السائلة سيتم تناولها. المذيب هو الماء والمذاب هو المادة الصلبة للعضوية أو غير العضوية ذات ضغط بخار منخفض جداً عند درجات حرارة المبخر.

إذا كانت المخلفات الخطرة السائلة المائية تحتوى مكونات عضوية متوسطة التطاير، فإن المعالجة بعد التبخير قد تكون مطلوبة لفصل تلك المواد العضوية من المجال المائي. التخلص النهائي للمتبقي المركز يكون مطلوباً كذلك.

المميزات الرئيسية للتبخير كتنقية لمعالجة المخلفات هي ارتفاع للتكلفة الرأسمالية وتكلفة التشغيل إلى متطلبات الطاقة العالية. من بين مشاكل التشغيل الهامة هو تراكم الأملاح على أسطح المبادلات الحرارية، حدوث لارغاوي والزبد، تحلل المواد الصلبة.

الاستخدام للمخلفات الخطرة:

استخدام تكنولوجيا التبخير لمعالجة المخلفات الخطره يكون محدوداً طبقاً لطبيعة الكثير من المخلفات الخطره وطبقاً لقيود التصميم للمبخر. اختيار التصميم يتوقف على المسائل المطلوب تبيخيره. هذا يعني أن تدفق المخلفات يجب أن يتم توصيفه كاملاً وأن يكون له طبيعة متجانسة نسبياً. ولكن، يستخدم التبخير في معالجة المخلفات، حيث

المعدة المستخدمة تكون مرنة ويمكنها تداول المخلفات أشكال مختلفة. السائلة المائية، غير المائية، الرديئة، الحمأة، والقار. يستخدم التبخير عادة كطريقة معالجة مسبقة لخفض كميات المادة للمعالجة النهائية، وتستخدم كذلك في حالات حيث لا توجد طريقة أخرى للمعالجة يمكن استخدامها. كما في حالة تركيز (trinitrotoluene) للحرق بعد ذلك. بالإضافة إلى استخدامها في الصناعة، فإنها تستخدم كذلك في عمليات عديدة لمعالجة المخلفات الخطره أو للتخلص منها.

أفضل تقنية تبخير مؤثرة لمعالجة المخلفات الخطره هي التبخير الشمسي. لقد استخدم التبخير الشمسي في تداول المخلفات الخطره وخاصة المبيدات ومخلفات الفلوروميدات. استخدام التبخير الشمسي له مميزات عديدة. فهو يحافظ على الطاقة والموارد، الاستثمارات للرأسمالية قليلة، يمكن معالجة تدفقات المخلفات غير المتجانسة، وتسبب أدنى لطلاق للملوثات في الجو. ولكنها لها العديد من السلبيات فهي تعتمد عموماً على الظروف المناخية (الرطوبة، الترسيبات، سرعة الرياح، كثافة الاشعاع الشمسي)، تتطلب استخدام مساحة كبيرة من الأرض، العامل الهام الذي يجب أن يؤخذ في الاعتبار هو معدل الترسيب مقابل معدل البخر وخاصة في دول الشمال. المبخرات يمكن استخدامها لمعالجة السوائل ذات الأساس المائي من أى عملية صناعية. كذلك تستخدم المبخرات لخفض حجم مياه الصرف من عمليات معالجة أخرى مثل مجدد التبادل الأيوني، التناضح العكسي، مركبات الترشيح للفائق.

عملية التبخير:

التبخير يعرف بأنه تحويل السائل إلى بخار. تحديداً يتضمن تبخير السائل من المحلول أو الرديئة (Slurry). الغرض من التبخير هو لتركيز المحلول الذي يتكون من (١) المذيب المتطاير (٢) المذاب غير المتطاير، ويتم التبخير بدفع المذيب كبخار. المتبقي ليس كما في حالة التجفيف يكون صلباً، فإن المتبقي المنتج بواسطة التبخير يكون عادة سائل أكثر لزوجة، للتبخير يختلف عن التقطير في أنه لا توجد محاولة لتجزئه البخار (fractionate Vapor).

كل النظم في التبخير تتطلب انتقال الحرارة الكافية إلى السائل لتبخير المذيب المتطاير. كمية الحرارة المطلوبة لتسبب الانتقال تسمى الحرارة الكامنة للتبخير (Latent Heat of Vaporization).

العملية المستخدمة عموماً في للتبخير تسمى إنتقال حرارة الغليان (Boiling Heat Transfer) للتبخير الوميضي (Flash Evaporation).

المستخدم عادة هو إنتقال حرارة الغليان. هنا يتحول للسائل إلي بخار علي سطح جسم المبخر بواسطة البخار المنكثف أو مصدر حرارة أخر . يحدث التبخير الوميضي نتيجة للتدفق إلي منطقة حيث يكون الضغط أقل من ضغط تشبع البخار للسائل. في هذه الحالة، للحرارة المطلوبة للتبخير تأتي من الحرارة المحسوسة المتكلفة خلال تبريد السائل. التبخير الوميضي يتم في وعاء مقفل.

أنواع المبخرات:

مهمة المبخر هي (١) توفير وسيلة لنقل الحرارة إلي السائل (٢) السماح بحدوث عملية التبخير. عملية التبخير تم تنفيذها تجارياً بالعديد من التصميمات. الأنواع الثلاثة المستخدمة عادة هي مبخرات الطبقة الصاعدة (Rising- Film)، للطبقة الهابطة (Falling Film)، التدوير عنوة (Forced-Circulation) للنوع الأول والثاني يعتمد علي إنتقال حرارة الغليان، والأخير يعتمد علي للتبخير عنوة.

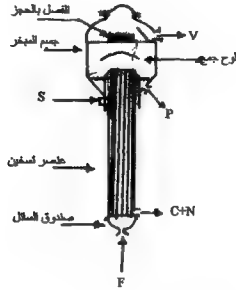
مبخر الطبقة الصاعدة:

في مبخر الطبقة الصاعدة، يتم تبخير طبقة من السائل عند مرورها إلي أعلا في طبقة علي داخل الأنابيب الساخنة. السائل يدخل قاع الأنابيب، عادة عند أقل من نقطة الغليان. مع بدء السائل في الغليان، يتم توليد البخار ويتحرك إلي أعلا، حاملاً السائل معه، بما ينتج عنه طبقة التدفق إلي أعلا (الطبقة الصاعدة) علي داخل الأنابيب.

يتم وضع لوح العاكس فوق الأنابيب لتوفير الفصل الأولي للبخار والسائل الخارج من الأنابيب. البخار يدخل إلي خزان مثبت فوق عنصر تسخين، حيث يحدث له فصل بالحجز الإضافي. يتم تجميع السائل في فراغ حلقي عند الطرف السفلي لجسم البخار والتدفق نحو الوعاء التالي في تسلسل الأداء للمبخر.

يتم مرور البخار خلال المبادل الحراري، الذي يوفر الحرارة للأنابيب في وعاء المبخر التالي.

الأجزاء الرئيسية لجسم مبخر الطبقة الصاعدة هي عنصر التسخين، جسم البخار، صندوق السائل، ولوح العاكس. نموذج لهذا الشكل بالشكل (٢١/١).



شكل (21/1) جسم مبخر الطبقة المساعدة

مبخر الطبقة الهابطة:

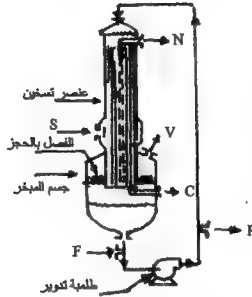
في مبخر الطبقة الهابطة، يتم تبخير طبقة السائل مع تدفقه إلى أسفل على داخل الأنابيب الساخنة أو خارج الألواح الساخنة. يتم ضخ السائل إلى أعلا عنصر التسخين، حيث يتم انتشاره إلى طبقة على سطح عنصر التسخين. مع تدفق السائل إلى أسفل يتم تسخينه إلى الغليان (إن لم يكن عند نقطة الغليان) وطرده البخار.

تصميم اللوح يستخدم الألواح الجوفاء المكونة من لوحين من المعدن لعمل سطح التسخين. الألواح تنظم إلى شكل الحزمة لتكوين عنصر للتسخين البخار يتدفق خلال داخل الألواح خلال ماسورة تجميع. إزالة المتكثف والبخار يكون كذلك خلال مواسير التجميع (Headers). يتم استمرار تدوير السائل إلى أعلا عنصر التسخين وتوزيعه في طبقة على خارج الألواح الرأسية. طبقة السائل تتدفق بالجاذبية إلى أسفل خارج الألواح الساخنة ثم إلى داخل الخزان عند قاع جسم البخار. البخار المنتج يتدفق إلى خارج اللقمة خلال وحدة الحجز والفصل.

في حالة التصميم الأنبوبي فإنه يوجد تدفق مستمر للسائل والبخار إلى أسفل داخل الأنابيب الساخنة، يتم التدوير المستمر للسائل بواسطة مضخة من قاع الأنابيب إلى أعلا. هذا أيضا يحافظ على البخار المتولد في الأنابيب تحت الضغط، بما يؤكد تدفقه إلى أسفل. الخزان المركب على الطرف السفلي لعنصر التسخين يوفر الفصل

التبخير

لخليط البخار - السائل. الفصل الأولي يتم بقميل البخار مع تنفقه خلال ستارة للسائل عند قاع الأنابيب وأداء الطرد المركزي مع تحول البخار ١٨٠° ليتدفق خارج الجزء العلوي لجسم البخار شكل (٢١/٢).



شكل (21/2) جسم مبخر الطليقة الهائلة

مبخر التدوير عنوة: Forced Circulation Evaporator

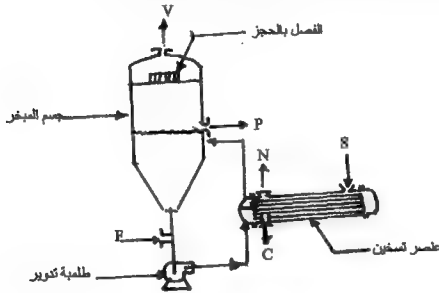
في مبخر التدوير عنوة، يتم تبخير السائل بالتبخير الوميضي الناتج من زيادة الحرارة المنتجة بالتدفق خلال الأنابيب الساخنة. يتم التدوير للسائل باستمرار من المستقبل خلال عنصر التسخين الأنبوبي ثم العودة إلى الخزان بواسطة طلمبة. يتم المحافظة على استمرار الضغط الكافي خلال السخان ليسمح بتسخين السائل بدون غليان في الأنابيب. يحدث للتبخير الوميضي (التبخير) عند إعادة دخول السائل إلى الخزان، والذي يعمل عند ضغط أقل قليلاً من ضغط بخار التشبع للسائل العائد.

الأجزاء الرئيسية لمبخر التدوير عنوة هي عنصر التسخين، جسم البخار، وطلمبة التدوير. نموذج لشكل المبخر في الشكل (٢١/٣).

أنواع أخرى من المبخرات المستخدمة عادة هي الشمسي (سبق مناقشته)، أوعية المرحلة الواحدة (Batch Pans)، التدوير الطبيعي.

أوعية المرحلة الواحدة: وهذه هي أبسط تجهيزات التبخير الميكانيكي. يتم توفير الحرارة باستخدام وعاء بغلاف أو وعاء بلفة مواسير دلخية. يحدث التبخير على دفعات معاكساً لنظام التدفق.

مبخرات التدوير الطبيعي: وهذه تثبه في التصميم لمبادلات الحرارة من نوع الغلاف والأنبوب. وهي عموماً عمودية حيث السائل يكون له ممر واحد خلال النظام. يتم دفع تدفق السائل خلال الأنابيب بواسطة التدرج في الكثافات بين السائل في أنابيب عودة السائل المركزية وخليط المجالين في أنابيب المبخر.



شكل (21/3) مبخر التدوير عنوة

معدة إضافية:

المبادلات الحرارية، خزانات اللوميض، الباقنات تلك هي المعدة الإضافية العادية المستخدمة مع المبخرات لإكمال نظام التبخير.

تستخدم المبادلات الحرارية بغرض (١) التسخين المسبق للسائل، (٢) تكثيف الأبخرة من التأثير الأخير. المبادلات الحرارية تقليدياً هي بتصميم الغلاف والأنبوب مع السائل على جانب الغلاف. أداء الانتقال الحراري العالي يتم باستمرار سرعات السائل المناسبة في المواسير. الأجزاء الرئيسية للمبادل الحراري هي عنصر التسخين وخزان السائل. سخانات السائل المسبقة يمكن إما تكون منفردة أو مكاملة للمبخر.

السائل والمكثف يتم وميضه مع تدفقهم إلى المناطق حيث الضغط أقل من ضغط تشبع البخار للسائل. يحدث للتبخير، محولا الحرارة المحسومة إلى حرارة كامنة عند تبريد السائل. في بعض الحالات يمكن أن يحدث الوميض خلال خزان المبخر، بما يجعل من الضروري إضافة معدة خاصة، ولكن، عندما يكون من الضروري المحافظة علي فصل البخار، يمكن استخدام خزانات وميض منفصلة. عموماً يتم وميض (Flashed) تدفقات السائل للحصول علي تحسن في القصاديات الوقود بوضع الحرارة في النظام حيث يمكنها تنفيذ تبخير إضافي.

خزان الوميض عادة تكون في شكل وعاء أسطواني عمودي مقفل من الجانبين. يوجد في خط التغذية للخزان لوح الفتحة لإحداث الوميض بعد تلك النقطة.

الفصل الأولي للبخار/السائل يتم بالتدفق الحزوني للسائل وبالسرع المنخفضة إلى أعلا للبخار لتعزيز الترسيب للنقاط المحتجزة، تصريفات البخار من القمة والسائل من القاع.

اختيار البخار:

خواص السائل المطلوب تبخيره تعتبر هامة نحو الاختيار النهائي لنظام المبخر المناسب وتشمل الآتي:

- الطاقة الحرارية: الطاقة الحرارية (Heat Capacity) تشمل الكمية الحرارية المطلوبة لرفع درجة الحرارة لوحدة الكتلة من المادة درجة واحدة أو كمية الحرارة المنطلقة بخفض درجة حرارة واحدة من وحدة الكتلة. هذا النوع من الحرارة يسمى الحرارة المحسومة (Sensible Heat).

- حرارة التبخر: حرارة التبخر هي كمية الحرارة اللازمة لتبخير وحدة الكتلة لسائل عند ثبات درجة الحرارة والضغط. هذا النوع من الحرارة يصاحبه تغير في المجال ويسمى الحرارة الكامنة (Latent Heat).

- الكثافة: الكثافة هي نسبة كتلة المادة إلى حجمها.

- التوصيل الحراري: التوصيل الحراري هو مقياس معدل الانتقال الحراري بالتوصيل الحراري (Conduction) خلال المادة لوحدة المساحة لوحدة التدرج في درجة الحرارة.

- ارتفاع نقطة الغليان: (Boiling Point Rise): ارتفاع نقطة الغليان هو الفرق بين نقطة الغليان للسائل وتلك للماء النقي عند نفس الضغط.
- معامل الانتقال الحراري: المعامل الكلي للانتقال الحراري هو قياس لمعدل الانتقال الحراري بين البخار والسائل لوحدة المسطح ولوحدة الفرق في درجة الحرارة. اعتبارات بيئية:

التبخير هو تقنية مكلفة بالنسبة للتكاليف للرأسمالية وتكاليف التشغيل. بالإضافة إلي أن التبخير الميكانيكي ينتج متكثف وتنفقات قاعية وأيهما لو كلاهما قد يتطلب معالجة تالية أو التخلص.

التبخير الشمسي أقل تكلفة ولكن تكلفة الأرض للتبخير تكون عالية. بالإضافة إلي أن البرك المستخدمة في التبخير الشمسي تحتاج عادة إلي تبطين القاع لمنع تسرب المخلفات الخطره إلي المياه الجوفية. لذلك يلزم تفريغ البركة كل ١٢ شهر ليتمكن اعتبارها عملية معالجة وليست عملية تخلص. المشكلة المرتبطة بالبحر هي نوعية الهواء في حالة وجود مواد عضوية متطايرة في محلول المخلفات.

العمليات الحرارية

- الفصل الثاني والعشرون: معارق حرق السائل
- الفصل الثالث والعشرون: الأفران الدوارة في صناعة المخلفات الخطره
- الفصل الرابع والعشرون: الحرق بطبقة التميؤ
- الفصل الخامس والعشرون: استخدام المخلفات الخطرة كوقود لتغلايات
- الفصل السادس والعشرون: أفران الأسمنت
- الفصل السابع والعشرون: الأكسدة الترطبة
- الفصل الثامن والعشرون: خلط الاسفلت
- الفصل التاسع والعشرون: عمليات الزجاج المتصهر
- الفصل الثلاثون: الأكسدة المائية فوق النعرجة
- الفصل الحادي والثلاثون: نظم البلازما
- الفصل الثاني والثلاثون: عمليات التحلل بالحرارة
- الفصل الثالث والثلاثون: المخلفات الخطره كوقود في العمليات الصناعية
- الفصل الرابع والثلاثون: حرق المخلفات المعدية

الفصل الثالث والخمسون

مخارق حقن السائل

Liquid Injection Incinerators

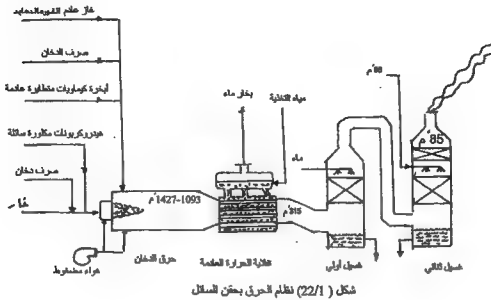


١. مقدمة :

في مجال حرق المخلفات الخطره، توجد خبرة كبيرة بمخارق حرق السائل مقارنة بكل الأنواع الأخرى، في دراسة إحصائية تمت عام ١٩٩٢ أن ٦٤% تقريباً من إجمالي أعداد المخارق التي في الخدمة كانت من نوع حقن السائل. توجد أنواع عديدة من المخارق تستخدم لتداول المخلفات السائلة وكذلك المخلفات في أشكال أخرى مثل الصلبة، الحماة، الرذغة، الأسخنة، في هذا الفصل سوف يتم تناول نوع حقن السائل والذي ينطبق على المخلفات السائلة القابلة للضخ. يتم حرق المخلفات مباشرة في الحاروق (Combustor Burner) أو الحقن في منطقة اللهب أو منطقة الاحتراق لغرفة المحرقة (فرن) للأفران الدوارة، الغلايات، والأفران في الصناعة من خلال بربوز (Nozzles). القيمة الحرارية للمخلفات هي العامل الهام لمكان فتحة التصريف أو البربوز. المخلفات السائلة في العمليات الصناعية عديدة ومتنوعة ولذلك يصعب تعريفها > التخلص من تلك المخلفات السائلة أصبح مشكلة. حالياً قوانين حماية البيئة تمنع الصرف العشوائي لتلك المخلفات. ولكن حالياً توجد مخارق حقن السائل، الأفران الدوارة، الغلايات، الأفران الصناعية تلك التي يمكنها تداول مختلف التدفقات السائلة التي تنتج من العمليات الصناعية. تلك للوحدات يمكن أن تكون في الموقع أي مكان إنتاج المخلفات أو في مكان إنتاج آخر أو في عملية تخلص تجارية. في هذا الفصل سوف نحاول استعراض للتصميمات المختلفة المتاحة والمكونات الأساسية الضرورية لتوفير نظام حقن سائل مناسب.

٢. مخارق حقن السائل:

مخارق حقن السائل يكون عادة غرف مبطنة بالحراريات (أفقية أو عمودية إلى أعلا أو إلى أسفل)، عموماً أسطوانية ومزودة بحاروق لولسي (المخلفات والأشغال الإضافي بالوقود) وعادة حاروقات ثنائية أو فتحات تصريف بالحقن (Injection Nozzles) للمواد ذات القيمة الحرارية المنخفضة (مخلفات المائية المحتوية على مركبات عضوية أو غير عضوية أو كليهما شكل (٢٢/١)، (٢٢/٧).



تلك الوحدات تعمل عند مستويات درجة حرارة من ١٠٠٠ م (١٨٣٢° فهرنهايت) إلى ١٧٠٠ م (٣٠٩٣° فهرنهايت). زمن المكوث في الغرفة قد يتغير من ملي ثانية إلى ٣ ثانية. للزوجة تحدد ما إذا كانت المادة المطلوب حرقها اعتبارها كسائل ، أو ردة (Slurry) ، أو حمأة (Sludge). للوحدات السائل اليوم قادرة علي حرق المواد عالية اللزوجة التي مقدارها (4500 SSU) أو أقل. للعامل الحرج لعمل الوحدة سيكون بزيوز الترزي (Atomizing Nozzle) المستخدم لتحويل تنفق السائل إلي نقاط رذاذ دقيقة. بالنسبة لمحرقه حقن السائل فإنه يجب مراعاة قدرة النظام ككل أي التصميم، المكونات، التحكم، نظام التلوث للتطابق مع متطلبات نظم المحارق كالاتي:

١. ٩٩,٩٩% كفاءة تدمير وإزالة للمكونات الرئيسية للمخلفات العضوية الخطره.
٢. نسبة إزالة ٩٩% لكوريد الهيدروجين (١,٨ كجرام/الساعة، ٤ رطل/الساعة) .
٣. انبعاث المدخنة لا يزيد عن ١٨٠ ملجرام لكل متر مكعب جاف أي (٠,٠٨ جرام لكل قدم مكعب جاف).

هناك قوانين أخرى تضيف للكلور، المعادن، الدايبوكسين، فيورين إلي معايير الانبعاث من المدخنة.

٢. بيانات المخلفات السائلة: Waste-Liquid Data

الخواص الطبيعية، الكيماوية والحرارية الحركية (Thermody Namic) للمخلفات يجب اعتبارها ضمن المتطلبات الأساسية لتصميم إجمالي نظام الحارق، وهذا يتضمن خزانات الحفظ، الخلاطات، اللطيمات، محابس التحكم، المواسير ، الرزازات

(Atomizers)، غرف الحرق، الحرارية، استعادة الحرارة، نظام التبريد، ومعدة التحكم في تلوث الهواء. البيانات اللازمة المصمم بالنسبة لتصميم كل النظام والمكونات مبينة في الجدول (٢٢/١).

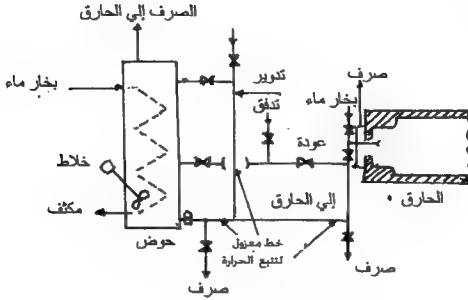
جدول (٢٢/١) بيانات المخلفات السائلة اللازمة لتصميم الحارق:

١. المكونات الكيميائية (بما فيها الهاليدز (Halides)، للكبريت، للنيتروجين. إلخ.
٢. الجاذبية النوعية (SpG).
٣. حرارة الإحترق.
٤. اللزوجة.
٥. العدوانية (Corrosivity).
٦. القابلية للاشتعال.
٧. التفاعلية (Reactivity).
٨. البلمرة.
٩. المحتوى من المواد الصلبة (النوع، النسبة، للبيانات الطبيعية).
١٠. للمعادن.
١١. خواص تكوين الخبث (درجة الحرارة، للبيانات الأصهورية (Eutectic).

٤. تصميم نظام مخرقة السائل: (Liquid Incinerator)

أ. التخزين: Storage

عند تصميم نظام التخزين لإمكان التغذية لخليط متجانس وقيمة حرارية، فإنه يلزم الخلط الجيد في حوض التخزين. عادة في الخزانات المضخمة يحدث تكوين طبقات خاصة حيث المخلفات يتم الحصول عليها من مصادر مختلفة. الخلط يمكن تنفيذه بالخلاطات الداخلية، طلمبات التنوير الخارجية، أو بدفع الهواء أو البخار. كذلك يكون من الضروري توفير للتفتيش (Venting) للخران لتجنب حدوث تراكم للضغط. الغازات التي تخرج من فتحة للتفتيش يتم استهلاكها في غرفة الحارق شكل (٢٢/٢) أو إلى نظام النظافة بالكربون المنشط.



شكل (22/2) نظام أنابيب العادم

مواد الإنشاء لكل المكونات في نظام للتخزين والتغذية- الخزانات، الطلمبات، الخلاطات، المواسير، المحابس، الازابيز. يتم تحديدها طبقاً للمكونات الكيماوية، اللزوجة، العدائية، والمحتوى من المواد الصلبة وتنفقات المخلفات. في حالة معرفة المواد الصلبة أنها مواد خاملة، فإنه يتم استخدام مرشحات لمنع الحمل غير الضروري لتلك المواد إلى الحارق ونظام للتحكم في تلوث الهواء. ولكن إذا كانت تلك المواد الصلبة هي مواد عضوية، فإنها يجب تضمينها كجزء من تنفقات المخلفات وتصميم كل المكونات يجب أن يوفر تحريك هذه المادة مباشرة إلى الحارق.

ب. النقل : (Transport)

المواد عالية اللزوجة (الرذغة، الحمأة) والسوائل المحتوية علي مواد صلبة هي العامل الهام في تصميم نظام للتغذية إلى الحارق. العديد من أنواع الطلمبات متاح واختيارهم واستخدامهم نملية خواص تنفقات المخلفات. تم استخدام طلمبات التجويف التدريجي (Progressive Cavity Pump) بنجاح شريطة اختيار مواد الصنع لكل من الدوار (Rotor) والعضو الساكن (Stator) بعناية. استخدمت طلمبات التروس (Gear) حيث كانت الحصان الرابع لمعظم المواد ذات اللزوجة المنخفضة (المكافئ للزيت الوقود رقم ٦). ولكن في هذه الحالة فإن الجمع بين اللزوجة والسرعة يكون حرجاً لطول العمر، قلة عمليات الصيانة. في النظم حيث يلزم ضخ العديد من مواد المخلفات إلى الحارق، فإنه يلزم التنبه نحو نظام التغذية الذي يلزم استخدامه في كل حالة. في بعض

الحالات، تكون الطلمبات غير عملية وذلك بسبب تكاليف الصيانة العملية وما ينتج عنها من توقف. الضغط باستخدام الغاز الخامل (النيتروجين) يمكن أن يكون الأكثر أماناً وكذلك المناسب اقتصادياً. تستخدم طلمبات المنفاخ (الرذاخ) (Diaphragm Pumps) حالياً في كثير من المنشآت حيث فشلت الطلمبات الأخرى.

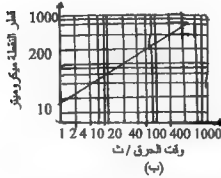
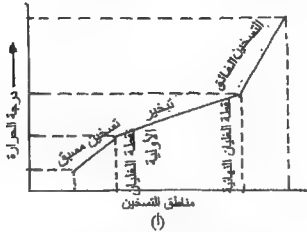
تصميم نظام الترزيز (Atomizer) عادة يملئ متطلبات الضغط لنظام النقل. حيث يتم استخدام البزبوز الهيدروليكي (الميكانيكي)، الذي يحتاج إلى ضغط عالي فإنه يتم استخدام الطلمبة ذات التصميم حيث الفاصل بين الدافع وجسم الطلمبة ليكونا متقاربين. المواد ذات اللزوجة العالية والموائيل المحتوية على مواد صلبة سوف تحدث خدوش (Score) على سطح الطلمبة، مسببة البلي للزائد وسرعة التلف لضغط الطلمبة. هذا ينتج عنه خفض في التدفق وكذلك ضعف الترزيز. نقل المواد ذو حرج في التصميم الجيد للحارق. مخلفات سائلة معينة وحماة يجب إستمرارها عند مستويات درجة حرارة عالية بما يكفي لإمكان الضخ. إذا تم تبريدها فإن المادة سوف تتجمد في خط المواسير، ولكن، في حالة عدم التحكم في التسخين، فإن المادة يمكن أن تتبلمر (Polymerize) في حالة تسخينها إلى درجة حرارة عالية الارتفاع. في حالة البلمرة، يكون من المستحيل تسهيل المادة. نتيجة لذلك، فإن المواسير مع البلمرات تصيف إلى مشكلة للتخلص من المواد الصلبة.

المرزقات: Atomizers

طريقة حقن السائل في الموقد (Burner) أو منطقة الحرق للفرن الدوار، الغلاية، أو فرن الحارق هي واحدة من أهم مظاهر التصميم الجيد، الغرض الرئيسي لحقن السائل في شكل رشات (Spray) هو:

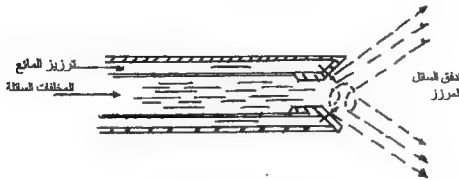
١. تكسير السائل إلى نقاط صغيرة.
 ٢. وضع نقاط السائل في منطقة معينة ذات إطار معين ذات إختراق كافي وطاقة حركية.
 ٣. التحكم في معدل تدفق صرف السائل إلى البزبوز (Nozzle).
- السوائل العضوية والمائية تمر خلال ثلاثة مجالات قبل بداية الأكسدة الحقيقية. الهيدروكربونز (Hydrocarbons) تحترق عند درجات حرارة منخفضة مثل ٢٣٠°م (٤٤٦°م فهرنهايت) ومرتفعة مثل ٦٥٠°م (١٠٢٢°م فهرنهايت). يتم تسخينها وتبخيرها وتسخينها للفائق (Super Heated) إلى درجة حرارة الاحتراق والشكل (٢٢/٣) تلك النقاط يجب تعريضها إلى مجال محيط ذو درجة حرارة مرتفعة لامكان امتصاص

الحرارة بالاشعاع والحمل الحرارى بالسرعة العملية. في نفس الوقت، يجب أن يكونوا في للتصاق جيد مع الأكسجين. في حالة كبر قطر النقاط، فإنه سوف يتم إنتاج نقاط أقل، وإجمالي السطح المتاح للانتقال الحرارى سوف يقل.

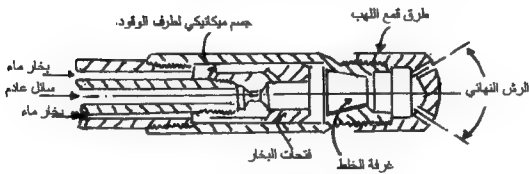


شكل (22/3) حلة الهيدروكربون بدلالة درجة الحرارة (ب) وقت الحرق بدلالة قطر النقطة

بالنسبة للمواد عالية اللزوجة، فإن فتحات البزبوز (Nozzle Orifices) يجب أن تكون كبيرة لخفض الفقد في الضغط، البري والانسداد. لذلك، فإنه يجب تصميم فتحات التصريف (البزبوز) لإحداث أداء القص للسائل لينكسر إلى كثير من جسيمات أصغر في القطر. معظم فتحات التصريف الضيقة (البزبوز) المصممة لترزيز السوائل اللزجة تستخدم مائع هوائي (مثل البخار أو الهواء المضغوط) لتكسير التفتق اللزج إلى نقاط التي يمكن أن تحمل إلى منطقة الاحتراق الشكل (٢٢/٤)، (٢٢/٥).



شكل (22/4) الطرف الخارجي للمرزور



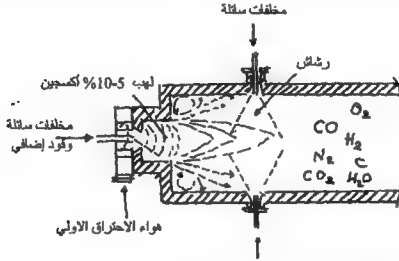
شكل (22/5) المرزور بالخلط الداخلي

نظام هواء الحرق : Compuation Air system

يكون من الضروري الخلط الجيد لهواء الاحتراق مع نقاط السائل. مع تبخير السائل وتحميصه (Super Heated) إلي درجة حرارة الاشتعال، فإن الأكسجين يتفاعل مع بخار الهيدروكربون ليسمح بانطلاق الطاقة. مع حدوث ذلك فإنه يحدث ارتفاع مفاجئ في درجة الحرارة. هذا يزيد من سرعة الغازات في المناطق المحيطة بالنقاط مسببة زيادة الخلط وإنهاء تفاعل الأكسدة. بالنسبة للهيدروكربونات ذات درجة حرارة الغليان المنخفضة، فإن هذا التفاعل يحدث بسرعة عند درجة حرارة الغليان الأولية، والارتفاع السريع إلي درجة حرارة التفاعل (١٠٠٠ إلي ١٧٠٠°م) أو (١٨٣٢ إلي ٣٠٠٢ فهرنهايت) سيوفر الحرارة إلي نقاط للسائل الباردة القائمة شكل (٢٢/٣) [١].

مع زيادة لزوجة السائل، فإن حجم النقطة يميل إلي الزيادة وكذلك فإن ٩٠ % من نقطة غليان الهيدروكربون يكون عند مستوي أعلا. للتبخير الكامل وتحميص النقاط (Droplets) فإنه يلزم زيادة في الوقت. زيادة الاضطراب الناتج بواسطة المواقد عالية القوة يوفر الحصول علي هذا التفاعل بسرعة. للطاقة تنتقل إلي هواء الاحتراق للحارق وهذا بالتالي يوفر زيادة سرعة للخلط للهواء مع نقاط للوقود. في كثير من

الموافق، هذا الاضطراب يوفر تدوير داخلي لمنتجات الإحتراق الساخنة، والذي ينقل الحرارة إلي النقاط التي أصبحت في صورة رزاز ويرفعها إلي نقطة الاشتعال. مع وصول السائل المحمص إلي درجة حرارة الاشتعال، فإن الأكسجين يجب أن يكون متاحاً لإكمال تفاعل الأكسدة. يحدث كثيراً من المشاكل في حالة للتصاق بخار الهيدروكربون مع تيار تنفق ذو مستوي منخفض من الأكسجين شكل (٢٢/٦)



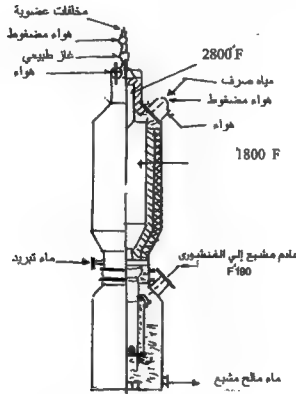
شكل (22/6) محركة المخلفات السائلة المائية بدون هواء تنفسي

التحلل الحراري (Pyrolysis) ينتج مع تكسير الهيدروكربون إلي كربون، أول أكسيد الكربون، الهيدروكربون غير المحترق، والهيدروجين، وزمن الإحتراق التام يزداد. تفاعل ثنائي سوف يحدث عند وصول هذه الغازات إلي حالة الإمداد المناسب بالأكسجين. في المؤكسد الحراري الحقيقي، معظم الأكسدة السريعة تحدث عند تصميم مرحلة لإحتراق واحدة في النظام.

إذا كان السائل الذي تم تبخيره محتوياً علي مواد صلبة، فإن تصميم الحارق يجب أن يسمح للجسيمات بالحمل إلي تنفقات تيار الغاز بدون تكتل.

تصميم السيلكون أو الحركة لدولمية العالية (High Swirl) قد يسبب إعادة تكتل وتكرور المواد الصلبة إلي حبيبات أكبر والتي تصبح أكثر صعوبة في الحرق. لذلك فإن التصميم الجيد لتجهيزه خلط الهواء ومكان فتحة الصرف الضيقة (Nozzle) يصبح ذو أهمية. التركيز المناسب للأكسجين علي سطح تلك المواد الصلبة يلزم توفيره لضمان حدوث الأكسدة بالتدرج. لكون الجسيمات صلبة، فإنها سوف تحترق علي السطح وأن الحرارة سوف تنتقل إلي الداخل إلي قلب النقطة. يلزم توفير الوقت الكافي لإمكان الإحتراق للمواد الصلبة العالقة.

إذا كان هناك حمل للمواد الخاملة مع السائل عند تبخيره، فإن ذلك يميل إلى الحمل مع تدفقات مسار الغاز كجسيمات. طبقاً لنوع جهاز التريز (Atomizer) فإن مكونات المواد الصلبة، ودرجة حرارة المؤكسد (Oxidizer)، فإن نسبته سوف تصبح ذات حجم دون الميكروني (Submicron) وتحمل مع تيار سريان الغاز، الجسيمات الثقيلة تصبح منصهرة وتتكثف، تصميم الحارق يجب أن يجمع تلك بدون اعتداد للتدفق في النظام. التصميم الأفقي للقياسي أو التوجيه الرأسي المستخدم عادة لتلك الأنواع من المخلفات موضح في الشكل (٢٢/٧).



شكل (22/7) محرقة بالتصميم الرأسي

الحارقات: (Combustors)

وحدات الحرق الأولى والثلاثي تستخدم في نظم حارق حقن السائل. لوححدات الأولية تستخدم لتلك المخلفات ذات القيمة الحرارية الكافية لإمداد مدخل الحرارة الضروري للنظام بدون الحاجة إلى وقود مساعد. بالنسبة للمواد ذات قيمة للتصريف الضيقة (اليزوز - Nozzle)، فإن المخلفات ذات مقادير تسخين (Heating Value) تقريباً من ٢٥٠٠ كاليو كالوري على الكيلوجرام (٥٠٠ وحدة حرارية /الرطل) وأكثر يمكن

حرقها بطريقة كافية. تصميم نوع الموقد، خلط الهواء، الاضطراب (Turbulence)، وهكذا يعين أنني قيمة تسخين للحرق بدون وقود مساعد.

المواق ذات اللهب للرقراق (Laminar) أو منخفض للشدة (الإنخفاض في ضغط الهواء. يتغير من ٥٠ إلى ١٥٠ مليمتراً) يستخدم مستويات هواء عالية الزيادة (٢٥ إلى ٦٠% لتوفير الخلط للهواء مع الوقود العادم). ذلك عادة يظهر بوضوح الاضطراب المنخفض. المواق ذات القوة العالية تعمل بضغط حراق، احتراق من ٢٠٠ إلى ٥٠٠ مليمتراً. نتيجة لذلك فإن زيادة الاضطراب الناتجة من الطاقة التي أضافها الهواء تسمح بالعمل على مستويات هواء زائد أقل (من صفر إلى ٢٠%). أنني درجة حرارة حرق مثالية لحرق الوقود هي تقريباً من ١٢٠٠°م إلى ١٣١٥°م. الموقد عالي الشدة يكون قادراً على أكسدة حوالي ٢٥٠٠ كيلو كالوري/الكيلوجرام (٤٥٠٠ وحدة حرارية /الرطل) من مادة المخلفات عند ١٢٠٠°م، ١٠% هواء زائد. الموقد ذو الشدة المنخفضة الذي يعمل عند ٤٠% هواء زائد، ١٢٠٠°م ٢١٩٢°م (فهرنهايت) يكون محدوداً إلى أنني مقدار تسخين مقداره ٣٢٢٠ كيلو كالوري/كجم (٤٥٠٠ وحدة حرارية/الرطل) للمادة بطريقة جيدة.

فمثلاً، إذا كانت المخلفات المطلوب حرقها لها قيمة حرارية مقدارها ٢٧٧٠ كيلو كالوري/كيلوجرام (٥٠٠٠ وحدة حرارية /الرطل) والمطلوب التخلص من ٤٥٤ كيلوجرام في الساعة (١٠٠٠ رطل/الساعة) فإنه يكون مطلوب موقد عالي الشدة بمقدار ١٠×٥ وحدة حرارية في الساعة الموقد يتم تصميمه للإضاءة بالوقود الإضافي عند تقريباً ١٠×٤ وحدة حرارية /الساعة وذلك للتسخين الأولي، بمجرد وصول درجة حرارة للغرفة إلى مستوي ١٠٩٣°م (٢٠٠٠°م فهرنهايت) ولزيد، فإن المخلفات يمكن ادخالها.

المواق ذات القوة المنخفضة تتطلب أنني مقدار تسخين مقداره ٣٢٢٠ كيلوكالوري/كجم (٥٨٠٠ وحدة حرارية /الرطل) لتعمل بفرض حرق مادة ٢٧٧٠ كيلوكالوري/كجم، فإنه يلزم وقود إضافي لرفع القيمة الحرارية لخليط الوقود إلى ٣٢٢٠ كيلوكالوري/كجم. بفرض أن الوقود الإضافي متاحاً بقيمة حرارية ١٠٠٠٠ كيلوكالوري/كجم (١٨٠٠٠ وحدة حرارية/الرطل)، فإن كمية الوقود المطلوبة وحجم الموقد المطلوب يمكن تعيينه كالآتي:

$$5000(X) + 18000(1 - X) = 5800$$

حيث: X = نسبة أنني قيمة حرارية (LHV) للمخلفات.

(1-X) = نسبة أعلى قيمة حرارية (HHV) للمخلفات.

الحل بالنسبة لـ (X) =

$$X = 93.846\% \text{ و } (1-X) = 0.06154\%$$

حيث:

$$\text{إجمالي تدفق الوقود} = 1000 + 0.93846 \times 1060 = \text{رطل/الساعة.}$$

$$1060 - 1000 = 60 \text{ رطل / الساعة من الوقود الإضافي.}$$

$$\text{إجمالي الطاقة الحرارية المدخلة} = (5000) (1000) + (18000) (60)$$

$$= 6,179 \times 10^6 \text{ وحدة حرارية / الساعة.}$$

$$\text{مدخلات الوقود الإضافي} = 6,179 \times 10^6 \text{ وحدة حرارية / الرطل.}$$

الموقد يجب أن يكون مقداره $6,18 \times 10^6$ وحدة حرارية / الساعة مقابل 10×10^6 وحدة حرارية للموقد عالي القدرة.

خواص المخلفات تحدد تصميم الحارق:

في العمليات الصناعية المخلفات السائلة المنتجة عديدة الأنواع ويصعب تعريفها. يمكن تصنيف المخلفات كعضوية، وعضوية مائية، وعضوية غير مائية (انظر الجدول التالي). أي من تلك يمكن تقسيمه إلى تلك التي تعتبر خطيرة والتي لا تعتبر خطيرة.

المخلفات العضوية تلك المبينة في الجدول في معظم الحالات سوف لا تستمر في الاشتعال ويتم حقنها في الحارق الأولي. الكثير يتم استخدامه كمصدر لوقود الغلايات، سخانات العمليات الصناعية، نظم للحرق.. إلخ، لاحظ أنه يضاف المخلفات المهلجنة.

جدول (٢٢/٢) سوائل المخلفات العضوية

عضوية (غير مائي)	مائي Aqueous	
	بدون رماد	رماد
مذيبات	Phthalic Anhydride	Sodium Glutamate
مخلفات زيوت، حماة	فيتول	Molasses Ferment
الهيدروكربونات المهلجنة	زيت / ماء	فينولات مخلقة
الأحماض العضوية	Maleicanhydride	بولي إسترز
المكونات العضوية المعدنية		Caprolactum
الأروماتيك		مخلفات العمليات الزراعية

نظم المخلفات المائية بالرماد:

في مراجعة المخلفات المائية الرطبة لاحظ الفرق بين تلك المخلفات بالرماد أو بدون رماد. المخلفات الغير حاملة للرماد سهلة التدول أما في نظم المحارق الأتقية أو الرأسية (الموجهة إلي أعلا). عادة يتم خفض المخلفات تحت التيار للموّد وليس في لهب الموّد الرئيسي، يجب الحرص علي نحو التصميم بفتحات التدفق الضيقة بالنسبة للحجم، المكان، العدد والاتجاه لحقن المخلفات الرطبة.

حيث أن تدفقات مسار المخلفات ذات للرطوبة العالية أو المائية ليست لزجة، فإنه يمكن ترزيزها بالضغط الهيدروليكي فقط في بربوز البثق الميكانيكي أو يمكن استخدام بربوز المائع للتثائي (البخار أو الهواء المضغوط). استخدام الهواء المضغوط لتلك الفتحات الضيقة (الزببوز) أصبح ناجحاً بدرجة كبيرة. الهواء يعمل كهواء احتراق ويقلل من الحمل الحراري علي النظام الذي يمكن أن يكون مطلوباً بالبخار. التصميم والتحكم يجب أن يوفر النسبة الصحيحة لتأكيد إطار الرش المناسب وحجم النقاط خلال إجمالي مجال التدفق.

كذلك يلزم حماية تلك الفتحات للضيقة (Nozzles) في حالة فقد تدفق المخلفات باستمرار تدفق السائل المرزوز. في كثير من الوحدات، تصمم تلك الفتحات الضيقة لآمكان إزالتها من غرفة الحارق لمنع الاحتراق لطرف الفتحة. كذلك يجب مراعاة توفير الهواء الكافي لأكسدة المواد العضوية للمحتوية في تدفقات مسار السائل. المحارق عرفت بإنتاج السناج (Soot) نتيجة حالة للتحلل الحراري عند مدخل المخلفات العضوية المائية .

المخلفات الرطبة المائية المحتوية علي مادة عضوية غير عضوية تم إنتاجها بواسطة عملية الصناعات الزراعية في صناعة مبيدات الحشائش (Herbicides)، المبيدات الحشرية (Pesticides)، ومنتجات أخرى . كذلك الصناعات اللوائية تنتج مخلفات ذات محتوى عالي من الماء للمحتوية علي المواد العضوية، الفوسفور، الكلور والمركبات الحاملة للكبريت. المحاليل المائية ليس لديها قدرة الاحتراق الذاتي عندما يكون محتوى الماء أكبر من ٧٥% . إذا كانت المياه العادمة تحتوى علي رماد (أملاح) فإنه يجب مراعاة للتشغيل إلي أقصى درجة حرارة لخفض المشاكل الحرارية. تلك المخلفات طبيعي يتم حقنها في الحارق (Incinerator) تحت التيار لغرفة الاحتراق

الأولي (Primary Combustor) في منطقة درجة الحرارة المنخفضة وليس مباشرة في منطقة الحرايات عالية درجة الحرارة.

تصميمات المحرق لأكسدة تلك المخلفات ذات المحتوي العالي من الرماد تكون ذات توجه رأسي. هذا يسمح بالصرف بالجانبية لمادة الرماد المنصهر نحو منطقة التبريد (Quench Zone). يحدث التفاعل عند درجات الحرارة المرتفعة هذه بين الأكاسيد المعدنية نتيجة الأكسدة والمركبات التي تكون البطانة الحرارية (مثل الألومينا والسيليكا). اختبار أنواع الحرايات المختلفة بالنسبة للخبث الذي سوف ينتج من عملية الحرق عند درجات حرارة التشغيل المتوقعة يعتبر ذو أهمية خاصة.

المخلفات الرطبة المحروقة مع استخدام المخلفات العضوية كوقود إضافي:

Aqueous Wastes Incinerated With Organic Wastes Used As Auxiliary Fuel:

عند تداول كلا من المخلفات العضوية كوقود إضافي والمخلفات الرطبة المحتوية علي رماد ولكن مولد عضوية، فإنه يجب أن نتذكر أن الغرض الأولي من عملية الحرق الأكسدة الكاملة للمواد العضوية. لذلك، فإن الظروف يجب أن تبني لتوفير للترزيز الضروري، الخلط، درجة الحرارة، والوقت لمختلف أنواع المخلفات المطلوب حرقها. كما سبق توضيحه، فإن مكونات مخلفات معينة قد تحد درجة حرارة التشغيل (مثال، المخلفات المائية مع الأملاح). لذلك يكون من المهم تعيين كيف وأين يتم إدخال كل مادة مخلفات إلي الحارق. المخلفات العضوية يتم عادة إدخالها إلي غرفة الإحتراق (Combustor).

تلك توفر من خلال الحرارة الضرورية ودرجة الحرارة المطلوبة لتدفقات مسار المخلفات ذات القيمة الحرارية المنخفضة. إذا كانت تلك التدفقات سوف لا تسبب مشاكل مع الحرايات عند درجات الحرارة العالية، فإنه يجب إدخالها مع المخلفات ذات حرارة تسخين اعلا (HHV) (Higher Heating Value) في غرفة الاحتراق الأولية. نذكر أن درجة الحرارة في هذه المنطقة يجب أن تستمر علي ١٢٠٠°م (٢١٩٢° فهرنهايت) أو أكثر.

الهيدروكربونيز المهلجنة: (Halogenated Hydrocarbons)

في السنين الأخيرة مع زيادة إنتاج البلاستيك فإنه زاد الإنتاج من المخلفات من صناعة كلوريد الفينيل (Vinyl Chloride)، بولي فينيل كلوريد (Polyvinyl Chloride) بسرعة. في كثير من المنشآت الكبيرة حيث زيادة كميات الإنتاج فإنه ينتج زيادة في تقنيث الغازات السامة.

المخلفات السائلة الزرقة . نظراً لأن تلك المواد قد تقرر بأنها مسرطنة فإنه يكون من الضروري التخلص منها بطريقة صحيحة. ثم عمل العديد من المخططات للتخلص من تلك المخلفات في الموقع والتي أنتجت من تلك المصانع. وهذه شملت الانمصاص بالكربون، التثبيت الكيماوي، إمتصاص المذيب، والحرق. لقد اكتسبت الصناعة كمية كبيرة من الخبرة في تلك الأمور خلال الثلاثين عاماً الماضية. للحرق حقق الإجابة نحو التخلص من مواد المخلفات المهلجنة هذه. الجدول (٢٢/٣) الآتي يبين بمواد المخلفات المكلورة وأصلها.

الغرض من حرق للمخلفات المحتوية علي الكلور هو عادة لقياس القيمة الحرارية عادة المخلفات. نسبة للكلور العالية هي نموذج للمخلفات المنتجة في عملية فينيل كلورايد (VCM Vinyl Chloride Monomer) .

جدول (٢٢/٣) مصادر المواد العضوية المكلورة

المخلفات المنتجة	العملية أو المنتج
Ethylene Chloride Ethyl Chloride Vinyl Chloride	Vinyl Chloride Monomer
Dichlorois Propyl Ether	Propylene Glycol
Dichloropropylene	Epochlorohydrin Propyl Oxide
بنزين هكزا كلورايد Hexachloro Butadiene Octachloro Cyclopentene	Insecticides
رابع كلوريد الكربون Tetra Chloroethylene	مبيدات الحشائش (Herbicides)
Dichloropropylene	Chlorinated Elastomers

النموذجي هو قيمة حرارية في المجال من ٣٥٠٠ إلى ٨٠٠٠ وحدة حرارية / الرطل (١٩٤٤ إلى ٤٤٤٤ كيلوكالوري للجرام). وقود الهيدروكربونز المهلجنة يميل إلي أن يكون أبداً في الحرق ومكونا للسناج (Soot). نتيجة لذلك، فإن كثيراً من النظم قد عملت مع زيادة عالية في الهواء لازائد لتعزيز الخلط للأكسجين مع الهيدروكربونز لخفض تكوين السناج. هذا قد يتطلب إضافة وقود مساعد للتغلب علي الانخفاض في درجة حرارة اللهب مع الزيادة العالية في الهواء.

هذا يزيد كذلك قوة حصان التشغيل وحجم معدة التحكم في التلوث تحت التيار. كذلك فإن الهواء عالي الزيادة يعزز كذلك تكوين مستوي أعلا كثيراً من الكلور الحر، هذا قد يبدو أنه ليس مشكلة في الحارق نظراً لأن النتائج سوف تبين

للتدمير الكامل للمكونات العضوية للرئيسية الخطره، ولكن سوف تظهر المشاكل فسي
معدة استعادة الحرارة العادمة وكذلك في وحدات الغسيل (Scrubbers) تحت التيار.
الكلور الحر أكثر عنوانية عن كلوريد الهيدروجين في تآكل المعادن. الكلور الحر،
يحتاج إلي القلوي في نهايات البرج للتحكم في التلوث عند الغسيل ، بينما كلوريد
الهيدروجين يتم امتصاصه بحرية في الماء. كذلك فإنه يكون من المهم أن يتم تصميم
فرن الحرق للخط الجيد للهواء والمخلفات ، بذا يتم تحقيق أقصى كفاءة لفرن الحرق.
نذلك يعزز أقصى مستويات درجة حرارة يمكن الحصول عليها عند حالات الاتزان.
هذا سوف يتطلب الاختبار الجيد للحراريات بحيث أن تتحمل درجات الحرارة التي
سوف يتم الوصول إليها في غرف الحرق عالية الكفاءة. الماء وتبريد البخار يستخدم
عادة بغرض التحكم الآمن في درجة الحرارة. في أحد للحالات كان الوقود العادم له
قيمة حرارية مقدارها ٨٠٠٠ وحدة حرارية /الرطل وله درجة حرارة لهب نظرية
٣٨٠٠°م فنهيت. تبريد البخار منع التسخين الزائد للحراري، وكذلك وفر
الهيدروجين الزائد لخفض تكوين الكلور. قطاع الحرق يجب أن يتم تصميمه طبقاً
للاعتبارات التالية:

١. خفض متطلبات الوقود الإضافي.
 ٢. للعمل عند أدنى هواء زائد.
 ٣. خفض الكلور الحر.
 ٤. توفير قطاع احتراق عالي الاضطراب لضمان أقصى درجات حرارة
لهب في أدنى حجم للغرفة.
 ٥. خفض تكوين السناج.
- تم تصميم المنظم للعمل عند معدلات انطلاق حرارة منخفضة جداً، أي في
المجال من ١٠ × ١ إلى ١٠ × ٢ وحدة حرارية /الساعة، حيث استعادة الحرارة
ليست حاسمة أو حرجية، وللنظم يجب أن تصمم لمعدلات إطلاق حرارة مرتفعة ما بين
١٠ × ٢٠ إلى ١٠ × ٨٠ وحدة حرارية /الرطل. تلك النظم تشمل ليس فقط استعادة
الحرارة العادمة في شكل بخار للغلاية ولكن أيضاً استعادة الحامض المنتج الثانوي، في
كثير من المصانع حيث يتم تصنيع كلوريد الفينيل، فإنه يستخدم حامض
الهيدروكلوريك كمادة خام. لذلك هذا يحقق استثمار المنتج الثانوي.

النظم التي تعمل مع التحكم في تلوث الهواء بالتبريد السريع للهواء وجد أنها تنتج أدنى مستوي من كل من Furan, Dioxin.

الآثار البيئية:

الجهد الذي تم توجيهه نحو التصميم الجيد لنظم التحكم في تلوث الهواء والتحكم في مياه الصرف للمصاحبة لمحارق حقن السائل هي أكبر من أى أنواع أخرى من الحرق. نظراً لأن معظم محارق حقن السائل لا تولد مواد صلبة أو رماد، فإن مشكلة التحكم في تلوث الهواء تكون عند أذناها، في معظم الحالات، يكون توفير الغسيل المناسب لامتصاص الغازات الحامضية للمولدة مثل SO_2 , NO_2 وغازات أخرى . في نظم حرق المخلفات السائلة التي تحتوى علي مواد صلبة أو مواد خاملة، فإن الجسيمات التي تتكون يمكن أن تكون دون الميكرونية في الحجم يسبب درجة الحرارة العالية المولدة في عملية الاحتراق وهذا يتطلب عمل اختبارات ريادية لتقدير تحميل الجسيمات والتوزيع الحجمي. هذا سوف يؤثر علي اختيار نظام التحكم في تلوث الهواء. المخلفات المحتوية علي الفوسفور تطلبت غسيل الفنتشوري (Venture Scrubbers) بانخفاض في الضغط عند مستويات (١٨٦,٨ ملليمتر/زئبق) (١٠٠ بوصة ماء). البديل هو إما الغسيل الرطب بالتأين، المرسب الكهروستاتيكي الرطب، الغسيل بالتصادم (Collision on Scrubber) ، أو الكيس (Bag House).

الماء:

صرف مياه للصرف يعتمد عادة علي الغازات الحامضية التي تكونت في المحارق، مكونات الرماد والحجم ، ونظام الغسيل المستخدم. كثيراً من النظم الكبيرة حالياً تحتوي علي مجففات الرش (Spray Dryers) لإزالة الغاز الحامضي يليه المرسبات الكهروستاتيكية أو الكيس. عند استخدام الغسيل بالأبراج ذات الحشو الداخلي أو الغسيل بالفنتشوري لغسيل HCl، فإنه يتم توليد محلول حامض ضعيف. هذا بالتالي يتم صرفه بحيرة ضحلة (Lagoon) حيث تتم معالته بالجير (كل تكلفة عن الصودا الكاوية) ثم الصرف النهائي في نظام معالجة مياه للصرف للمصنع.

الفصل الثالث والمشرون

الأفران الدوارة في صناعة المخلفات الخطرة

Rotary Kilns in The Hazardous Waste Industry

23

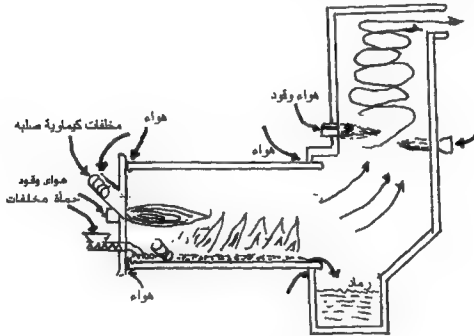
١. مراجعة التقنية:

لقد كان أول استخدام للفرن الدوار عام ١٨٠٠ وذلك لمعالجة الخامات، حالياً استخدام الفرن للدوار لمعالجة المخلفات الخطرة ذلك لأن له قدرات خاصة لتثبيت عملية الاحتراق للعديد من المواد المختلفة التي يمكن أن يتم تغذيتها في توقيت واحد. الأفران لها قدرة تداول العديد من المواد مع أدنى تأثير على الأداء. هذه القدرة هي أحد الأسباب الرئيسية لتفضيلها.

تصنيع المواد الخام هو استخدام تاريخي للفرن الدوار. مواد البناء الأساسية مثل الأسمنت، الجير، الفحم، خام الحديد، للركام ومواد أخرى التي تحتاج إلى التسخين عند درجات الحرارة العالية تم إنتاجها في الأفران الدوارة. المعالجة عند درجة الحرارة العالية هذه مع استمرار الخلط للمواد الخام توفر الأساس في تصنيع المخلفات الخطرة. كما في حالة المواد الخام للأسمنت التي تتعرض باستمرار إلى حرارة الفرن، كذلك فإن المخلفات أيضاً يتم تداولها بالفرن. أفران الجير والأسمنت يمكن أن تعمل عند درجات حرارة حتى ٣٢٠٠° فهرنهيت. محارق المخلفات الخطرة سوف تعمل في المجال من ١٤٠٠ إلى ٢٥٠٠ فهرنهيت طبقاً للمادة.

الفرن نفسه ليس حارقاً (Incinerator). فهو لا يحقق الأداء العالي للتدمير والإزالة اللازم للحارق بسبب الطريقة الأساسية التي يعمل بها. فهو يستخدم لتبخير المحتوى العضوي المتطاير للمادة التي توضع فيه. تلك المواد العضوية المتطايرة تحمل إلى خارج الفرن كجزء من تدفقات غاز نواتج الاحتراق. الحارق يوضع تحت التيار مباشرة للفرن الدوار لأكسدة المادة العضوية في تدفقات الغاز كما هو مبين في الشكل (٢٣/١). كذلك فإن المؤكسد (Oxidizer) يمكن تسميته ما بعد الموقد (After Burner)، الحارق (Incinerator)، أو غرفة للحرق الثابتة. للمواد غير المتطايرة التي يتم بها تغذية الفرن (المعادن، الأحجار، الرمل، وبعض المواد غير العضوية) تخرج من الفرن في صورة رماد. الرماد الخارج من الفرن ذو التشغيل الجيد لا يحتوي على مواد عضوية ولذلك، يمكن أن يعالج ثم التخلص منه. بعض المعادن وعناصر أخرى سوف تتبخر خلال الفرن وتحمل إلى المعدة تحت التيار.

الفرن الدوار يجمع ثلاثة اعتبارات هامة للتعامل مع مادة المخلفات في قطعة واحدة من المعدة: الوقت، درجة الحرارة، والخلط. عملية الخلط معروفة جيداً في إنتاج الأسمنت. الأسمنت يتكون من الجير، الحديد، والرمل أو الطفل حيث يتم خلطة عند تسخينه إلى درجة حرارة عالية. للخلط الجيد مطلوب للحصول على منتج متجانس الذي يمكن بيعه. تدفقات التغذية للمخلفات الخطره عموماً ليست ذات حجم متجانس، أو شكل، أو مكونات أو قوام. لذلك فإن معدة التصنيع يجب أن تناسب التغيرات الكبيرة في المواد مع الحصول على رمال متجانس الذي يتطابق مع المعايير المقررة. مادة المخلفات التي توضع في الفرن يجب أن يتوفر لها الوقت لتبخّر محتواها من المواد العضوية. مع الوقت المناسب، فإن مصدر الحرارة خلال الفرن يمكنه تسخين كل مادة المخلفات إلى درجة الحرارة المطلوبة. الفرن الدوار يوفر الخلط الجيد خلال أداء الدوران لتوزيع الحرارة بانتظام إلى كل المادة الجاري تصليعها كما يعرض كل المادة إلى مصدر الحرارة.



شكل (23/1) حارق الفرن الدوار

اعتبارات العملية : Process Considerations

الخطوة الأولى في تصميم الفرن الدوار لحارق للمخلفات الخطره هي بتوصيف تدفقات المخلفات. إنتاج الأسمنت والجير يعتبر عملية ثابتة التي لا تتغير مع الوقت. مكونات المخلفات الخطرة قد تتغير من ساعة إلى أخرى. بينما يكون المطلوب التحليل الكيماوي للمادة لمعرفة ما هي المادة الخطره، فإنه قد لا يكون كافياً معرفة كيفية

معالجة المادة. المتغيرات الطبيعية في المادة قد تملي أن مادة المخلفات يجب أن تتم لها المعالجة المسبقة بالخلط، التقطيع، أو التجفيف قبل وضعها في الفرن.

الخطوة الأولى في التعامل مع المخلفات هي تعيين للمحتوي الحراري Caloridic Content أو القيمة الحرارية (Heatig Value). وهذا هو مقياس محتوى الطاقة للمخلفات. المحتوى الحراري يعبر عنه بالوحدات (وحدة حرارية علي للرطل-Btu-Ib) أو السعرات الحرارية (Calories) في الجرام. للمواد ذات المحتوى الحراري تكون في المجال من ١٥٠٠٠ إلى ٢٠٠٠٠ وحدة حرارية علي للرطل. هذا يقارن بوقود الزيت (Fuel Oil) الذي له قيمة حرارية حوالى ١٨٠٠٠ وحدة حرارية/الرطل. المقادير المنخفضة تصل إلي صفر وحدة حرارية /الرطل. الماء والحجر له قيمة حرارية صفر وحدة حرارية/الرطل.

المحتوي الحراري يعتبر هام لأنه القياس المباشر لدرجة الحرارة ومتطلبات الأكسجين التي تتطلبها المخلفات المعينة، للمواد ذات القيمة الحرارية العالية يجب أن يتم تدولها بطريقة مختلفة عن الماء. المادة ذات المحتوى الحراري العالي سوف تحترق خلال الفرن، وتطلق حرارة. الماء يمكن أن يضاف لخفض درجة الحرارة إلي قيمة مقبولة. المواد ذات القيمة الحرارية المنخفضة علي الجانب الآخر، تتطلب عموماً تعزيز حراري من مصادر أخرى لاستمرار درجة الحرارة المناسبة.

التصنيف الثاني هو المحتوى من العناصر، الرطوبة، الحرارة النوعية، المحتوى من الرماد، وطبيعة الشكل. حجم المادة، الخواص الطبيعية تعتبر هامة عند تداول وتصنيع المادة قبل دخولها إلي الفرن حيث يتم الدوران السفلي للفرن وفي معدة تصنيع الرماد (Ash Processing). المكونات العنصرية هامة في تعريف كمية المخلفات التي سوف تدخل تدفقات الغاز في شكل بخار وحبيبات. بعض المعادن مثل الزئبق والكالسيوم سوف تتبخر في الفرن وتمر نحو نظام التحكم في تلوث الهواء. معادن أخرى مثل الكروم والباريوم سوف تظل في الرماد ولا تحتاج إلي معالجة تالية. مكونات أخرى في المخلفات قد تكون حبيبات صغيرة جداً خلال أو مع الخروج من الفرن. إذا كانت الجسيمات صغيرة (دون الميكرون) فإنه يجب تصميم نظام التحكم في تلوث الهواء لإزالتها من تدفقات الغاز. المعادن التي تتبخر في الفرن سوف تكون جسيمات دون الميكرونية عند تبريد الهواء في معدل التحكم في تلوث الهواء. تلك الجسيمات يجب إزالتها كذلك.

تحليل العناصر يعتبر هاماً عند تعريف خواص الرماد الذي يخرج من الفرن. كثير من المواد التي يتم التعامل معها سوف تختزل إلي شكل العنصر في الأفران. تلك عندئذ سوف تتحد مع مواد أخرى الجاري للتعامل معها ، مكونة مركبات جديدة. المثال التقليدي هو القلوي (الصوديوم، البوتاسيوم)، ومجموعة الهاليد (الكور،

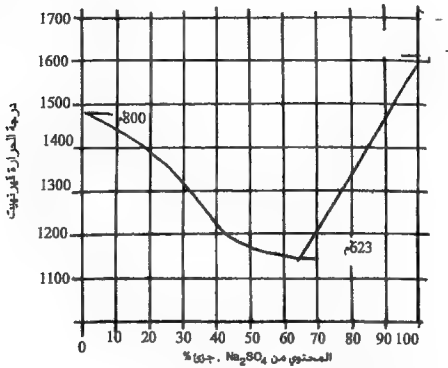
الفلور). كثيراً من مواد المخلفات يحتوي علي الكلور أو الفلور. عند التعامل مع مواد أخرى التي تحتوي للصوديوم أو للبوتاسيوم، فإنه تتكون أملاح.

الملح التقليدي كلوريد الصوديوم (NaCl)، في الحالة النقية له درجة حرارة انصهار ١٤٧٢° فهرنهايت. عند تكون هذه المادة في الفرن خلال الارتباط الكيماوي بين الصوديوم والكلور، فإنه يصبح لزجاً أولاً ويلتصق مع المواد الأخرى في الفرن. تتكون كتل ضخمة كثيفة لزجة والتي تلتصق مع مواد أخرى. تلك المواد تسقط في نظام تدلول الرماد وتحدث انسداد للأليات.

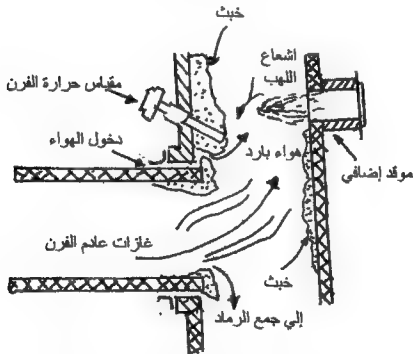
يلزم إزالتها باستخدام مدافع المياه أو بالطرق الهوائية (Jack Hammer) مع زيادة درجة حرارة المادة، فإنه (NaCl) قد يتحول إلي سائل الذي له القدرة علي اختراق وتلف الحراريات أو مجرد التدفق خارج الفرن شكل (٢٣/١) العديد من المواد له نقط انصهار مبنية علي المواد المركبة. تجميع نظم كل من كلوريد الصوديوم وكبريتات الصوديوم له درجة حرارة انصهار منخفضة عن أي منهما عند اتحادهما عند نسبة تقريباً ٦٠ إلي ٤٠. كما هو موضح في الشكل (٢٣/٢) نقطة انصهار مجموع المادتين هو ٣٠٠° فهرنهايت أقل من درجة حرارة الانصهار للمواد للنقية.

إذا كانت مادة المخلفات لا تكون كتل فإنها يمكن أن تلتصق بحوائط الفرن. استمرار تراكم المادة يوجد سد خلال الفرن، الذي يغير خصائص الانتقال الحراري وتدفق المادة خلال الفرن. في هذه الظروف فإن المواد فوق التيار للسد تصبح أكثر سخونة وبالتالي تصبح أكثر سيولة. عند الوصول إلي القمة فإنها تبرد بسرعة وتستمر في التراكم علي طول السد وعلي ارتفاعه. الفرن الذي له قطر داخلي ١٤ قدم تم اختزاله إلي قطر داخلي حوالي ٦ قدم نتيجة لألية تراكم المادة. يلزم مفرقات ومطارق هوائية متحركة لإزالة المادة. يمكن أن ينتج تلف كبير للحراريات نتيجة الإزالة.

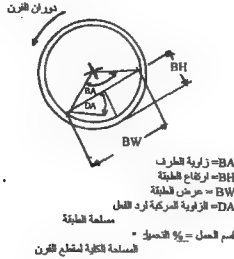
يجب تصميم طرف المخرج للفرن لتدلول الخواص الطبيعية للمادة التي يتم التعامل معها في الفرن، للنظم التي تكون الخبث يجب أن تحافظ علي استمرار تسخين المادة لحين خروجها من الفرن. إذا كان هناك تبريد عند نهاية الخروج فإن الخبث قد يتجمد ويسبب انسداد لفتحة الخروج. كما هو موضح في الشكل (٢٣/٣). كما هو موضح في الشكل (٢٣/٤) تم الانسداد الكامل لمخرج الفرن بسبب التبريد للمادة قبل خروجها من الفرن.



شكل (23/2) نقطة الانصهار - نظام $\text{NaCl}-\text{Na}_2\text{SO}_4$



شكل (23/3) انسداد نهاية الفرن بالخبث



شكل (24/4) تسميل الفرن بلمواد السالبة

تصميم العملية : Process Design

يتم تصميم الأفران بحيث أنه من ٥ إلى ١٥ % من حجمها الداخلي يكون مشغولاً بطبقة المواد الصلبة. هذه القيمة تم تطويرها خلال خبرة تشغيل طويلة في صناعة الأسمنت والجير. هذه القيمة تسمح بالانتقال الحراري المناسب إلى كل المواد خلال الطبقة. لقد تم تطبيقها في الأفران الدوارة للمخلفات لخطره بدرجات متفاوتة من النجاح. المادة ذات القيمة الحرارية العالية يجب أن يكون لها نسبة امتلاء منخفضة زمن التعرض المناسب والتحكم في درجة الحرارة عند مقطع الدخول. المواد ذات القيمة الحرارية المنخفضة يمكن تحميلها حتى ١٥ % ، شريطة وجود طول كافٍ في الفرن لتسخين كل المادة بشكل صحيح. إذا كان هناك تغير كبير في قوام المادة، فإنه يجب ضبط نسبة التحميل لتتوافق مع المادة.

مخلفات الرماد والخواص الطبيعية الأولية سوف تحدد تأثير التسخين. معظم هذا التسخين يمكن تنفيذه بواسطة انتقال الانصحاق من إنزلاق الحراري أسفل الطبقة. الانتقال الحراري الجيد يتم الحصول عليه عند درجة الطبقة إلى أسفل بعد دوران دفع الفرن للمادة علي الجانب شكل (٢٣/٦) هذه الطريقة تعرض مادة جديدة إلى السطح وإلى الحراري.

المواد ذات قيمة حرارية عالية سوف تحترق مباشرة بعد وضعها في الفرن. المادة سوف ترسو علي المادة الموجودة مسبقاً في الفرن وتحترق مباشرة علي السطح. هذا يولد درجات حرارة عالية جداً علي الطبقة. إذا كان هناك مواد عضوية متطايرة قريباً من مصدر الحرارة، فإنها يمكن أن تتبخر وتوفر وقود إضافي للحرق. الحوائط الساخنة سوف تنور تحت الطبقة، محدثة تسخين للمادة التي تلتصق مع الجدار.

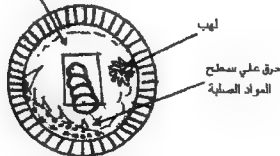
إذا كانت المادة عميقة جداً أو أن المادة تنزلق إلي أسفل الجنب، فإن الانتقال الحراري إلي الجزء الداخلي للطبقة يكون بالتوصيل الحراري فقط (Conduction). هذه آلية انتقال حراري ضعيفة للرماد. الرماد يميل إلي العمل كعازل. للمادة السطحية والقاعية التي تلتصق بحوائط الفرن تصبح ساخنة جداً، بينما المادة في الداخل تظل باردة. هذه المادة الداخلية قد لا تصل إلي درجات الحرارة المطلوبة لمعالجة المادة بطريقة صحيحة. تجهيزات الخلط المعروفة باسم (Lifers) يتم إقامتها لمنع حدوث هذا الانزلاق.

بعض صناع الأفران أقامت طوب الذي يلتصق لتوفير آلية رفع /خلط لحالة الطبقة المنزقة. توجد مشكلتين تصاحب هذا التصميم، بينما الأسطح الممتدة ترفع المادة، فإن بعض المادة يتم رفعه إلي القمة وسقوطه خلال اللهب.

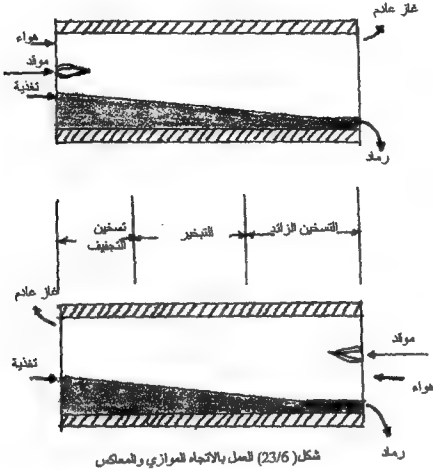
هذه المادة تكون عالية السخونة وسوف إما تتبخر أو تصبح قابلة للالتصاق (Sticky). المشكلة الثانية هي أن الطوب البارز يصبح عالي السخونة علي خمسة من أجنابه الستة، معدل البلي لتلك الأسطح يكون مرتفعاً جداً، والأسطح تكون أكثر ليونة بسبب درجات الحرارة العالية. بعض المنشآت فقدت الطوب المرفوع خلال شهر واحد من التشغيل. وآخرين أحدث انسداد للمعدة تحت التيار مع المادة الإضافية التي تسقط في تنفقات مسار الغاز.

الطوب المستخدم لتبطين الفرن يجب أن يتم اختياره ليقاوم كلا من البرك والعدوانية الكيماوية. الخواص الطبيعية لتنفقات المخلفات يكون بهل تأثير هام علي الطوب. في حالة التغذية المباشرة للبرميل المعدنية في الفرن فإن الحراريات الأولية سوف تتحمل الأثر الكلي لتحميل البرميل بالإضافة إلي الحمل الحراري للتلف الفوري للبرميل. العدوانية الكيماوية للصوديوم والكلور يجب أن نراعي كذلك في عملية اختيار الحراري، بعد وصول الفرن إلي درجة حرارة التشغيل التصميمي، فإن الحراري سوف يكون عند درجة حرارة أدنى من درجة حرارة خروج الغاز.

الإشعاع من الحراري



شكل (23/5) مقطع في الفرن



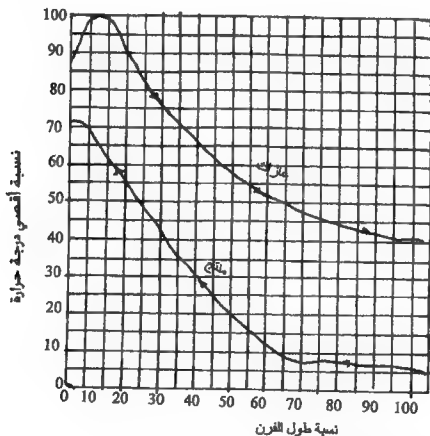
شكل (23/6) للعمل بالاتجاه الموازي والمعاكس

بيانات اختيار الفرن: Kiln Selection Criteria

نوع المخلفات هو الذي يحدد نوع الفرن الذي يتم اختياره للتعامل مع تدفقات المخلفات. الفرن يكون إما فرن يعمل بالتيار الموازي أو بالتيار المعاكس (Cocurrent Or Countercurrent). كما هو موضح في الشكل (٢٣/٧) فإنه في حالة فرق التيار الموازي تدخل شحنة نفس النهاية مثل الموقد. كلا من شحنة التغذية للفرن ومنتجات الحرق الساخنة تتحرك إلى الميل السفلي للفرن حيث تخرج من الطرف السفلي. هذا الفرن يستخدم للمخلفات ذات القيمة الحرارية العالية. موقد الغاز أو الزيت يبدأ حرق المادة. مع تحرك المادة إلى الميل السفلي للفرن ، فإن المادة التي تترك (الرماد) تبرد بسبب الفقد الحراري خلال حائط الفرن. عند طرف الخروج فإن المادة قد حولت كل الكربون والهيدروجين إلى غازات. الرماد يسقط إلى فرن استقبال الرماد أو حمام ماء لإكمال عملية التبريد. نواتج الاحتراق يتم توجيهها إلى غرفة الاحتراق الثابتة لتنفيذ عملية الاحتراق. درجة حرارة الغاز الخارج تكون أعلا من ١٠٠٠ قهرنهايت. طبقاً للمادة الجارى حرقها في الفرن، فإن درجة الحرارة قد تصل إلى ٢٤٠٠ قهرنهايت.

معظم المخلفات التجارية الخطرة والمخلفات المنزلية تستخدم ذلك النوع من المحارق بسبب المحتوى الحراري العالي للمخلفات.

أفران التيار المعاكس تستخدم للمواد ذات القيمة الحرارية المنخفضة مثل التربة ذات مستويات التلوث المنخفضة. كتلة المادة تتحرك في الاتجاه المعاكس للغازات الساخنة. هذا التنظيم يشبه فرن الأسمنت أو الجير. مثل استخدام تلك الأفران للتسخين لمعالجة المادة فإن فرن التيار المعاكس يعمل بنفس الطريقة. المكونات العضوية يتم دفعها خارج المادة بدون توليد حرارة كافية. كل الحرارة المطلوبة لمعالجة المادة يتم إمدادها بواسطة الموقد أو مصدر حرارة آخر. تكفقات الغاز الخارج هي عموماً أقل من ١٠٠٠° فهرنهايت. للتوزيع النموذجي لدرجة الحرارة في نوع الفرن هذا موضح في الشكل (٢٣/٨).



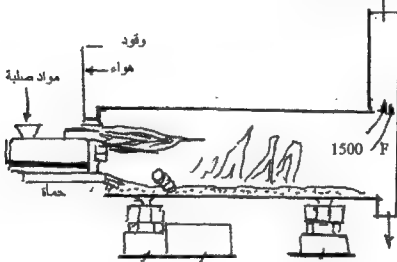
شكل (23/7) الشكل الجانبي لدرجة حرارة الفرن

نظم التغذية (Feed Systems)

نوع وآلية وطريقة تناول تدفق المخلفات يجب أن تتم مراجعته بالتفصيل قبل تصميم أو توصيف الفرن. آلية التغذية هي جزء مكمل لعملية الحرق. الشكل الذي به

المادة عند وضعها في الفرن يحدد كثيراً من خواص الاحتراق لتلك المادة. كما تم ذكره سابقاً، فإن الفرن يستخدم للتعامل مع المواد الصلبة عموماً انظر الشكل (٢٣/٩).
المادة الصلبة يمكن أن تكون مفككة أو في شكل كتل. إذا كانت المادة مفككة فإن آلية التغذية يجب أن تصمم لإحكام تدفق الهواء. عموماً، معدلات التدفق العالية يتم تحقيقها بنظام نوع السير (Belt-type). المادة في شكل كتل يتم معايرتها على سير قياسي الذي يعمل على سرعة عالية نسبياً. يتم نشر المادة خارج السير نحو الفرن. ولكن إذا كانت المادة ذات محتوى عالي من الطغلة فإنها قد تلتصق مع السير مسببة مشاكل في التغذية. السير لا يدخل الفرن ولذلك لا يكون معرضاً لدرجات حرارة الفرن العالية. لذلك فإنه يمكن تصنيعه من المطاط بدلاً من الصلب المقاوم لو أي سبيكة أخرى مقاومة لدرجة الحرارة العالية. هذا النظام يجب أن، يكون له نظام عائق (Baffle) لخفض تدفق الهواء. كثيراً من وحدات لفظ الحرارة (Thermal Desorption) تستخدم أدنى فتحة وستائر لتحديد من احتجاز الهواء مع شحنة المادة.

إلى غرفة الحرق الثابتة



شكل (23/8) فرن دوار

العديد من النظم يستخدم نظم التغذية من نوع اللبريمة (Auger-type). تلك النظم لها حدود في أن نظام السير ليس مناسباً بسبب الحدود الطبيعية. بالإضافة، فإن تلك الوحدات سوف تمتد في الفرن ولذلك تكون معرضة إلى درجات الحرارة العالية. إذا كانت مادة المخلفات ذات درجة حرارة غليان منخفضة، فإن المخلفات يمكن أن تتبخر خلال اللبريمة محدثة حالة غير آمنة، على العكس، فإن المادة يمكن أن تتحول إلى كتل وتحدث انسداداً للبريمة. وهذه حالة متساوية في كونها غير مطلوبة.

السوائل تدخل الفرن إما خلال بائق (Injector) السائل، الموقد، أو في حاويات. عند تداول السوائل، فإن القيمة الحرارية سوف تحدد أين يتم الحقن في الفرن. المواد

ذات القيمة الحرارية العالية يمكن استخدامها لامتداد الحرارة للعمليات. تلك يمكن استخدامها في الموقد كوقود، حيث يتم توفير الغاز الطبيعي أو الزيت كمصدر للحرارة.

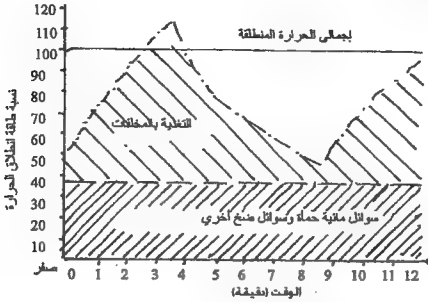
عند استخدام المخلوقات كوقود، فإنه يجب مراجعة خواص اللهب بالنسبة للأنواع القياسية لمواد الشحنة الصلبة اللازم إضافتها. إذا كانت القيمة الحرارية لمادة الشحنة عالية أو إذا كانت سوف تنبخر بسرعة، فإن الموقد ذو اللهب الطويل قد يكون مناسباً. إذا كانت المادة ذات قيمة حرارية منخفضة أو إذا كانت تتطلب كميات ضخمة من الحرارة لتبخير المخلوقات فإن الموقد ذو اللهب القصير قد يكون مناسباً.

السوائل ذات القيمة الحرارية المنخفضة يمكن كذلك إضافتها على نهاية حائط الفرن، السائل ذو القيمة الحرارية المنخفضة يمكن استخدامه لتبريد الغاز في الفرن إذا كان عالي السخونة. خواص السائل ذو قيمة حرارية منخفضة يجب أن تناسب طول الفرن والخواص الحرارية للمادة. تتفق السائل هذا عموماً لا يتم حرقه على نهاية مخرج الغاز. عند هذا المكان لا يمكن التحكم في عملية الاحتراق. بالإضافة إلى أنه في حالة وجود أي مواد صلبة في السائل، فإنها سوف تسقط إلى الرماد مع خروجه من الفرن، بدأ تقادي نظام التسخين للفرن.

المواد الصلبة في حاويات (Containertized) يتم تغذيتها خلال نظام الحقن على دفعات (Patch)، هذا النظام له نظام منحدر سقوط (Chute) أو الكيس (Ram) الذي يغذي الفرن بالمادة. يتم توفير محبس الهواء (Airlocks) لتسمح بالتحكم في الهواء المحتجز. بدون سدادات الهواء على نظام التغذية فإن فتح الأبواب لإضافة حاويات المواد الصلبة سوف يضيف هواء كثير إلى الفرن والذي إما أن يسرع أو يبطئ عملية الاحتراق. نفخة أو هبة الفرن (Puffing) هو نتيجة سرعة الحرق للمادة بعد إضافة الحاويات.

طريقة تغذية المخلوقات والتحكم يجب إحكامها. عند إضافة حاوية الفرن فإنه يمكن أن تطلق كل طاقتها الحرارية في زمن قصير جداً الذي تستغرقه لتحلل الحاوية. وهذا ينتج عنه انطلاق فوري للحرارة الذي يزيد عن قدرات النظام بولد الدخان. تلك النفخة أو الهبة (Puffs) تم دراستها. تاريخ الانطلاق الفوري للحرارة لنظام الحاوية موضح في الشكل (٢٣/٩). من المهم جداً أن خواص التغذية لمادة المخلوقات يتم إحكامها جيداً لتأكيد أن معدل انطلاق الحرارة الكلي للفوري لايزداد. حيث أن هواء الاحتراق (مصدر الأكسجين للحرق) يتم إمداده على أساس محكم فإن تلك الأحمال عالية الحرارة يمكنها خفض الأكسجين لحظياً في الفرن. تلف الحرارية يمكن أن ينتج من درجات الحرارة المصاحبة للتحميل الحراري العالي ومستويات الأكسجين التكمافية (Stoichiometric). توجد الحالة التكمافية هذه عندما يكون هناك الأكسجين الكافي

لتحقيق متطلبات الحرق للمادة. في هذه الحالة سوف لا يكون هناك أكسجين حر متاح في، تدفقات الغاز .



شكل (23/9) انطلاق الحرارة من الفرن نموذجي

بيان التصميم: Design Critering

تدفق المادة خلال الفرن الدوار يتحدد بميل الفرن، سرعة الدوران، وخواص المادة عند درجات حرارة تشغيل الفرن. الفرن ينشأ علي ميل خفيف بحيث أن طبقة المواد الصلبة تتقدم خلال الفرن بواسطة الجاذبية الأرضية، مع دوران الفرن فإن المادة تتبع الدوران لحين سقوطها أو تتحرك إلي أسفل الجدار. الجاذبية سوف تدفع المادة للسقوط عند النقطة التي تتحرر بالجدار. للتحرك إلي الأمام مرتبط مباشرة بميل الفرن. الحركة الأمامية للمادة خلال الفرن تم إعلانها في عام ١٩٢٧. زمن المكوث في الفرن يعرف بالآتي:

$$T = \frac{106.2\sqrt{\theta}}{SDN}$$

حيث:

T = زمن المكوث / الدقيقة.

θ = الزاوية الديناميكية للاستقرار (In Repose).

L = طول الفرن بالقدم.

S = ميل الفرن ، قدم/قدم.

N = سرعة الدوران للفرن، لفة في الدقيقة.

$$D = \text{القطر الداخلي (قدم).}$$

زمن المكوث القياسي يتم إكماله بواسطة دوران الفرن. زمن المكوث للمحارق التجارية للمخلفات الخطرة يتراوح ما بين ١٥ دقيقة إلى ساعتين لأفران التدفق المعاكس كحد أقصى. سرعة الدوران تتراوح ما بين ٠,١٥ إلى ٢,٥ لفة في الدقيقة. الطول عادة يتراوح من ١٥ إلى ٦٠ قدم للأفران ذات التيار الموازي (Cocurrent). الأفران ذات التيار المعاكس تكون بطول حتى ١٢٠ متر للحصول على زمن مكوث إضافي.

زاوية الاستقرار الديناميكي تم تطويرها لتطبيقات الأسمنت. وهي تصنف ما بين ٣٠° إلى ٤٥°. خواص المخلفات الخطرة لا تسمح بالاستخدام المتجانس لزاوية الاستقرار الديناميكية. بسبب عدم التجانس تستخدم للزاوية ٤٠° م. ميل الفرن هو عادة ما بين ٠,٠١ إلى ٠,٠٧ قدم / القدم. الميل عموماً على الجانب السفلي للأفران عالية الدوران لتوفير الوقت الكافي للتبخير التام للمواد العضوية في المادة. إذا كان الميل حاداً فإن المادة سوف تخرج من الفرن قبل معالجتها تماماً. للمواد اللصقة تتطلب ميل منخفض للفرن لتأكيد أن المادة لا تخرج من الفرن بسرعة.

نواتج الاحتراق تظل في الفرن لفترة قصيرة جداً. بسبب الوقت القصير والسرعة المنخفضة للغاز، فإنه يوجد خلط قليل للغاز خلال الفرن. الهواء الذي يدخل النظام قد لا يختلط مع كل المواد العضوية المنبعثة بالمخلفات. الطبقات الساخنة والباردة سوف توجد خلال الفرن. كل الغازات يجب معالجتها بواسطة غرفة الاحتراق الثانية لأكسدة كل المواد العضوية المتبقية في تكفقات الغاز بطريقة صحيحة.

معالجة المادة خلال الفرن يتطلب مصدر حراري، الأفران المصممة لتصنيع الأسمنت والجير تستخدم موقد طويل اللهب لتوفير الحرارة المتجانسة لمسافة طويلة خلال الفرن. محارق المخلفات الخطرة لمعالجة المواد ذات القيمة الحرارية المنخفضة تعمل بنفس الطريقة تحتاج إلى موقد مماثل. إذا كانت القيمة الحرارية عالية، فإن عملية الاحتراق تكون ذاتية الاستمرار. الموقد طويل اللهب ليس مناسباً لهذا الاستخدام. يلزم كموقد قصير اللهب لاشعال المادة وتوفير لهب مستقر لفحص اللهب (Flame Scanner). بسبب للتغير الكبير في المخلفات المضافة في الفرن، فإن الموقد يجب أن يصمم لضمان احتراق المادة.

طريقة إضافة الهواء سوف تؤثر على خواص الاحتراق في الفرن. إذا كان كل الهواء يتم إضافته خلال الموقد، فإنه سوف يكون نقص في الأكسجين على السطح الصلب. مكان إضافة الهواء سوف يؤثر كثيراً على خواص الاحتراق خلال الفرن. إذا كان الأكسجين في الهواء لا يختلط مع المادة القابلة للاحتراق، فإن كل الحرارة المتاحة لا يتم إطلاقها في الفرن.

توجد طرق عديدة لإضافة الهواء إلي الفرن التي لا تقيد عملية الاحتراق. بسبب الحدود الميكانيكية لموازل الفرن، فإن الهواء سوف يدخل الفرن خلال كل اللحامات الأمامية والخلفية. قياسات الأكسجين للنظم ذات ضعف العزل أعطت أمن زائف عن وجود الأكسجين الكافي خلال الفرن لإطلاق كل الحرارة المتاحة جيداً. باب التغذية بالحاوية له كذلك مصدر عدم الإحكام لإضافة الهواء. نظم فرن الاحتراق جيد التصميم قد دفعت فتحات دفع الهواء علي موقد نهاية الحائط. تلك الفتحات (البوابات) تكون متصلة بنافخ هواء الاحتراق لتوفير تدفق الهواء الذي يدفع الهواء إلي الطبقة ويعزز عملية الاحتراق. هذا النوع من النظم يناسب المواد ذات المحتوى الحراري العالي.

بعض النظم يتم تصميمها لتعمل تحت ظروف دون التكافؤ الكيميائي (Substio chrometric) أى في حالة نقص غاز الأكسجين. لا يوجد أكسجين أو أنني أكسجين في الغاز الخارج من الفرن. الفرن يعمل تحت هذه الظروف لزيادة طاقته لتداول المواد خلال خفض سرعة خروج الغاز. الطريقة التبادلية لخفض سرعة الغاز هي من خلال التغذية بالأكسجين. كلا تلك التقنيات تم استخدامها مع محدودية النجاح لنظام المخلفات الخطره بسبب التغير الكبير في تدفق المخلفات. الاستخدامات الناجحة لها تدفقات مخلفات ثابتة ، متناغمة.

الغازات العادمة التي يمكن أن تلوث البيئة يتم التعامل معها بالتقنيات المقررة في هذا المجال.

الفصل الرابع والمشرون

الحرق بطبقة التميؤ

Fluidized Bed Inciniration

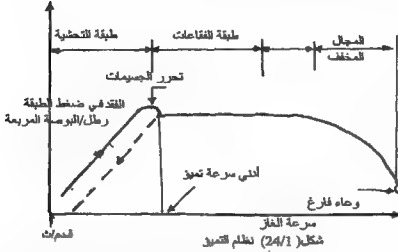
24

١. مقدمة:

رغم أن هذه التقنية تم اختراعها في أواخر القرن التاسع عشر فإن عمليات التصنيع بطبقة التميؤ استخدمت في عام ١٩٤٠ حيث كان الاستخدام الناجح علي مستوى كبير للتكسير التحفيزي بطبقة التميؤ (Fluidized Bed Catalytic Cracking) لمشتقات البترول الثقيلة إلي الجازولين وتغويز الفحم (Gasification). فلقد تم استخدام هذه التقنية في كثير من العمليات الصناعية متضمنة التصاق الصلب - الغاز. بالإضافة إلي حرق المخلفات ، فإن الاستخدام الرئيسي يشمل التجفيف (البوتاسا، الفحم، المنظفات)، تحميص خام البيريت وتكلس (الحجر الجيري، صخر الفوسفيت، الكربون المنشط) ، حرق الفحم، تغويز الفحم، تقاعلات (التكسير بالتحفيز للهيدروكربونز) هضم السيليكون، وتخليق عدد من الكيماوية الهامة للتجارية مثل (Acetonitrile)، واستخدام التغطية بالمسحوق، كل تلك العمليات تعتمد علي ميزه وحيدة التي توفرها طبقات التميؤ وهي حالات ثبات درجة الحرارة (Isothermal) خلال الطبقة، للقصور الذاتي الحراري العالي، للخلط الجيد مع معدلات انتقال حراري عالية.

ظاهرة التميؤ يمكن وصفها باختصار كالآتي بالإشارة إلي الشكل (٢٤/١)، في حالة تدفق غاز إلي أعلا خلال طبقة حاملة (Supported) من الجسيمات الصلب المحتواه في وعاء ، فإن اللقد في الضغط المقاس عبر الطبقة سيزداد مع تدفق الغاز لحين الوصول إلي نقطة معينة ، التي عندها يصل اللقد في الضغط إلي أقصاه، ينخفض ببطء، ويصبح تقريباً مستويًا، ثم عندئذ يهبط بشدة. عند النقطة للقصوي، تبدأ الجسيمات في الانفصال كل عن الأخرى بسبب قوة السحب التي يسببها تدفق الغاز. عند اللقطة حيث يصبح المنحني مستويًا، فإن للجسيمات تعتبر أنها غير محتجرة وعالقة بطريقة فردية في تدفق الغاز. وزن الطبقة عندئذ يتم موازنته (Palamed) بقوة السحب، ويوصف النظام بأنه قد وصل إلي أني سرعة تميؤ أو حالة تميؤ أولية.

الزيادة في معدل الغاز ينتج عنها تكوين فقاعات التي تقلب بشدة مجال التميؤ المحيط. عندئذ فإن طبقة التميؤ تعمل مثل السائل - مستوي السطح ملاحظ بوضوح ويظل أفقياً عند ميل الطبقة، الأغراض الصلبة سوف إما أن تطفو أو تسقط، طبقاً لكثافتها، والمستوي سوف يساوي بين قسمين مرتبطتين ببعض.



في حالة استمرار معدل الغاز في الزيادة، فإن الفقاعات (Bubbling) تصبح أكثر شدة، وحجز المواد الصلبة خارج طبقة التميؤ يصبح أكثر وضوحاً لحين الوصول إلى حالة التميؤ السريع، حيث تبدأ كل الجسيمات الصلبة في التحرك خارج الطبقة، حتي مع استمرار التدرج الراسي في الكثافة. عندما تقترب سرعة الغاز السطحية قيمة تساوي تقريباً ٢٠ ضعف أكبر عن سرعة السقوط الحر النهائية لجسيم ممثل في الطبقة، فإن الجسيمات تصبح مشدته باتساع في المجال الغازي بدون تطابق (Stratification) ويحدث انتقال هوائي (Pneumatic).

حرق المخلفات الصلبة باستخدام طبقات التميؤ هو تكنولوجيا مطبقة في كثير من المنشآت، معظم التطبيقات تتضمن حرق الحماة الناتجة من المعالجة البيولوجية لمياه الصرف المنزلي والصناعي في غرف للحرق ذات طبقة الفقاعات التي استخدمت منذ عام ١٩٦٢. إلى درجة أقل، استخدمت طبقات التميؤ كذلك لحرق المخلفات الصناعية الخطرة حيث مازالت التقنية المطبقة هي محارق الأفران الدوارة وحقن السائل.

معظم استخدامات حرق المخلفات تعتمد علي غرف الحرق بطبقة الفقاعات (Bubbling Bed Compustors) (BBC's). استخدم غرف الحرق بالطبقة للدائرة (CBC's) لمعالجة المخلفات كانت محدودة للنظم المنقولة ومصممة لعلاج التربة الملوثة. سيتم مناقشة كلا نوعي غرف الاحتراق.

٢. غرف الاحتراق بفقااعات التميؤ:

Bubbling Fluid-Bed Compostors

غرفة الاحتراق بطبقة الفقاعات تتكون من وعاء أسطواني أو مستطيل مبطن بالحراريات ويحتوي علي صندوق هواء (Wind Box) حيث يتم دخول هواء التميؤ، موزع الذي يحقق التوزيع المتجانس لهواء التميؤ فوق مقطع الوعاء، طبقة تميؤ من مادة خاملة (مثل: الرمل مادة حرارية ذات درجة حرارة عالية مفتته)، ومقطع التحرر أو الخلوص (Free Board).

حيث الحبيبات الدقيقة المنقاة (Elutriated Fines) يتم إعادة حجزها والسماح لها بالعودة إلي الطبقة حيث تحدث الأكسدة لأي مولا عضوية لم تحترق.

يتم إدخال المخلفات إلي طبقة الفقاعات الساخنة ذات مادة الحراريات الخاملة المفتتة (مثل سيليكات الألومنيوم) خلال فتحات حقن موضوعة إما أسفل أو فوق سطح الطبقة. المواد الصلبة أو شبه الصلبة تكون متجانسة مع سائل المخلفات مكونة رغبة قابلة للضخ مناسبة للحقن المباشر في الطبقة. إضافة للبنتونايت أو مخفف آخر للزوجة عادة يكون ضرورياً وذلك لاستمرار المواد الصلبة في حالة عالققة. أقصى حجم لحبيبة المادة الصلبة يكون عادة في حدود ثلاثة أرباع البوصة، أساساً طبقاً لخواص معدة تداول المواد الصلبة. بالنسبة للطبقات ذات القطر الكبير، يكون من الضروري العديد من أجهزة الحقن لتأكيد التوزيع الكافي لتغذية المخلفات. الحاققات (Injectors) قد يبرز في الطبقة إلي المحيط لدائرة ذات مساحة مساوية. يمكن تغذيتها فوراً بواسطة طلمبات أو من حلقة تجميع خارجية للتغذية عند الحقن، فإن خليط تغذية المخلفات ينتشر سريعاً خلال الطبقة مع حدوث كل من الجفاف، التحلل الحراري (Pyrolysis)، الاحتراق في وقت واحد مع التشتت. يحتوي طبقة التميؤ بالفقااعات من المواد القابلة للاحتراق هو نموذجياً أقل من ١% بالوزن. بالنسبة للمواد ذات الطاقة العالية فإن اللوقود الإضافي ليس ضرورياً. درجة حرارة الاحتراق في هذه الحالة هي عادة يتم إحكامها بالهواء الزائد، رغم أن إحكام محتوى الماء لخليط التغذية أو الحقن المباشر للماء البارد المرززم تم استخدامه، درجات الحرارة فوق الطبقة يحتمل أن تكون أعلا قليلاً عن درجات حرارة عمل الطبقة بسبب أكسدة المواد العضوية للمتطايرة فوق الطبقة وترويق الدقائق القابلة للاحتراق.

التغذية بالمخلفات يجب أن لا تحتوي علي مستويات عالية من العناصر القلوية ذات درجة حرارة الانصهار المنخفضة والتي تسبب تكثف للجسيمات وتؤدي إلي سقوط الطبقة أو تكوين رواسب زائد علي الجدار والتي بالتالي تؤدي إلي مناطق آسنة غير

مرغوبة وسوء توزيع للتدفق. أقصى درجات حرارة للطبقة موضحة في الجدول (٢٤/١) هي نموذجياً محدودة بتركيز العناصر القوية ذات الانصهار المنخفض. إضافات مثل طفلة الكاولين استخدمت لخفض الأصهريات (Eulectics) ذات درجة حرارة الانصهار المنخفضة. التقلب العنيف بواسطة تصادم الفقاعات يزيد إلى حد كبير الانتقال المادي والحراري، وبذا خفض درجة الحرارة اللازمة للحصول على كفاءة التكمير والإزالة المطلوبة. درجات الحرارة المنخفضة تنتج وفرة في الوقود نسبة إلى الأنواع الأخرى من تجهيزات الحرق، على الأقل لتلك الحالات حيث يلزم حرق وقود إضافي لاستمرار درجات حرارة للحرق المطلوبة. عدم وجود مقدمة اللهب وتجانس درجة الحرارة ينتج عنه انخفاض توليد (NOx)، الذي يساعد على خفض تكوين منتجات ذات إحتراق غير كامل خلال الطبقة. يمكن إضافة الحجر الجيري إلى الطبقة لإزالة كلوريد الهيدروجين، للكلور، ثاني أكسيد الكبريت ومركبات حامضية أخرى من الغاز العادم، ولكن هذا ينتج عنه ضرورة سحب جزء من الطبقة لمنع تراكم هاليدات الكالسيوم ذات درجة حرارة الانصهار المنخفضة والهدر (Wastage) (أو الفصل والتكوين) لمادة الطبقة الحرارية الخاملة. لهذا السبب فإن إزالة الأحماض تتم في معدة الغسيل تحت التيار.

إذا كان الغاز الخارج محتوياً على دقائق بكمية كبيرة فإنه يمكن استخدام سيكلون خارجي. مثل هذه الدقائق (Fines) يتم توليدها باستمرار نتيجة تآكل ويري الجسيمات الخاملة وتكون الرماد الطائر خلال عملية الاحتراق. الغاز العادم الساخن يجب أن تسير نحو تجهيزه استعادة الحرارة مثل المسترجعات (Recuperator) وذلك للتسخين المسبق لهواء التميؤ القادم أو غلاية الحرارة للعامة قبل التنظيف، مراحل نظافة الغاز تزيل أي أحماض متبقية، للجسيمات الدقيقة، وكذلك Dioxine, Poly chlorinated Dibenzo Furans الذي يمكن أن يتكون خلال التبريد المتدرج للغاز في تجهيزه استعادة الحرارة. مراحل نظافة الغاز قد تتكون من تبريد القاع البارد التقليدي Dry Bottom Quench يليه مجموعة غسيل بالفنشوري/ أو طبقة الحشو (Packed) أو مجفف الرش الوميضي (Flash Spray) يليه مرشح الكيس (Bag House). كذلك يمكن استخدام تجهيزات التخلص من سحابة البخار لتحسين الرؤية. غرف الحرق بطبقة الفقاعات يمكن أن تعمل تحت ضغط موجب أو ضغط سالب. لمنع التسرب للمواد السامة إلى الخارج خلال لا يقل عن غلاف محكم، يعمل عند ضغط سالب قليلاً هو المطلوب عموماً. العمل بالضغط السالب يتم توفيره بنظام الدفع - الجذب (Push-Pull) الذي يستخدم نافخ هواء التميؤ واستخدام مروحة دفع لتيار الهواء علي تحت التيار لمخنة مراحل نظافة الغاز.

المجالات النموذجية ومفتاح التصميم ومعايير الأداء تم تلخيصها في الجدول (٢٤/١). القيم التي تم توفيرها هي للاسترشاد فقط. تصميم كل نظام يجب أن يتضمن تقدير تفضيلي لطبيعة وتغيرات المخلفات ومكوناتها. نظام غرف الحرق بطبقة

الفقاعات موضح في الشكل (٢٤/٢) وهو قادر علي معالجة المخلفات من المواد الصلبة، الحمأة، الردغة، وكذلك للسائلة عند أقصى معدل تغذية ٨,٥ طن في الساعة. غرفة حرق طبقة الفقاعات لها مقطع مستطيل (٧,٥ قدم في ١٥ قدم)، ارتفاع ٦٠ قدم، وانطلاق الحرارة بمعدل مليون وحدة حرارية في الساعة. الغاز الخارج يتم إرساله إلي التسخين المسبق لهواء التميؤ ويحدث له نظافة من الأحماض يليه مرشح من النسيج مثل الكيس لإزالة الغبار.

جدول (٢٤/١) موجز لمعايير التصميم والتشغيل لغرف

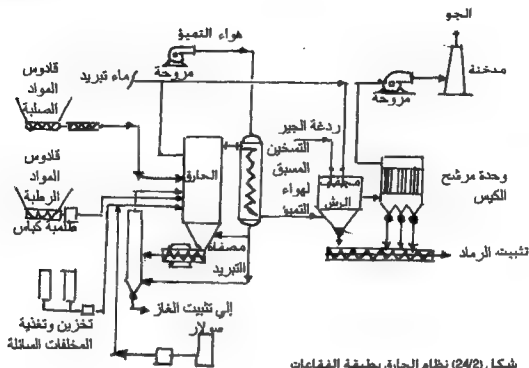
حرق المخلفات الخطره بطبقة الفقاعات

المعيار	الوحدات	المجال المثالي	ملاحظات
١	٢	٣	٤
درجة حرارة تشغيل الطبقة	درجة فهرنهايت	١٨٠٠-١٢٠٠	١٣٠٠-١٥٠٠ للحمأة المضوية، ١٤٧٥ إلي ١٥٥٠ للمخلفات الخطره
درجة حرارة الطبقة المتدرجة	درجة فهرنهايت	٩-١٥	بالنسبة لنظام توزيع الهواء جهد التصميم
حرارة التحرير أو الخلوص عمق طبقة التمدد	درجة فهرنهايت قدم	١٥٠٠-٢٢٠٠ ٤-٨	النموذجي ١٧٠٠
تمدد الطبقة	%	٣٠-١٠٠	من حالة السقوط
سرعة الغاز السطحي	قدم / ثانية	٤-١٠	مأخوذ عند الموزع ٢-١٠ ضعف السرعة النهائية للجسيمات في الخلوص
متطلبات الهواء الزائد	%	٥٠-١٠٠	
الحجم مكوث خلوص الغاز	ثانية	٢-٤	
الوقت الانخفاض في ضغط الموزع	%	٢٥-٤٠	٣٥%
انبعاث CO	جزء في المليون	٥-١٠٠	كمؤشر لكفاءة الإزالة
انبعاث NOx	جزء في المليون	٢٠-٢٥٠	يعتمد علي محتوى المخلفات من النيتروجين
انبعاث HC	صفر - ٥		

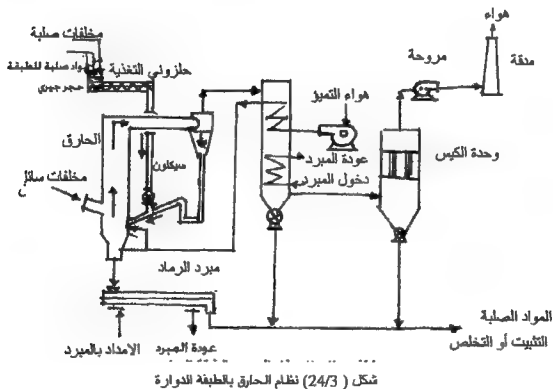
٣. غرف الحرق بطبقة التلووير: Circulating Bed Combustors

غرف الحرق بطبقة التلووير تعمل بنظام طبقة التميؤ السريعة، حيث طبقة المواد الصلبة المتحركة توفر الاضطراب اللازم للأكسدة المؤثرة للمواد القابلة للإحتراق. علي عكس طبقات التفافيح الثابتة، فإن غرف الحرق بطبقة التلووير تعتمد علي طبقة التميؤ المتحركة من المواد الصلبة لتوفير الانتقال المادي والحراري المؤثر عند درجات الحرارة العالية. تقنية غرف الحرق بطبقة التلووير تطورت في عام ١٩٨٠، حيث كان الاستخدام الرئيسي لهذه التقنية هو توليد البخار خلال الإحتراق الجوي للقمح، القمح الخشبي (Peat)، الأنثراثيت، الخشب المخلفات المنزلية ومواد صلبة أخرى من الوقود الصلب.

الشكل (٢٤/٣) مخطط لنظام غرف الحرق بطبقة التلووير لاستخدامات المخلفات الخطرة. يتم تأسيس تلووير المادة الصلب في الحلقة المكونة من (١) وعاء الحارق، حيث تحتجز المواد الصلبة نحو تدفق غاز متحرك إلي أعلا (٢) سيكلون- حلزوني حيث معظم المواد الصلبة تنفصل من الغاز العادم الساخن (٣) ساق عزل الارتداد (Return Seal Leg) التي تصل قاع السيكلون إلي وعاء الحرق. المخلفات الصلبة (أقل من واحد بوصة) يتم حقنها باستخدام المغذي الحلزوني إلي ساق العزل (Seal Leg)، حيث تلتصق مع المواد الصلبة الساخنة المفتة، العائدة إلي الحارق من السيكلون. في ساق العزل المواد الصلبة الساخنة المتحركة إلي أسفل تظل في المجال الكثيف لنظام التدفق "التصاق-انزلاق" "Stick-Slip"، الذي يساعد في سرعة التسخين ونشئت التغذية مع التبخير الجزئي للمواد القابلة للتبخير، للتغيز، التحلل الحراري، وكذلك عمليات الإحتراق كل ذلك يحدث في توقيت واحد. تدفقات التغذية السائلة أو الرغوة (Slurry) يتم حقنها مباشرة في وعاء غرفة الحرق، والتي تكون بمقياس نموذجي ٦٠ قدم في الارتفاع، ١٠،٥ إلي ٢ قدم بالنسبة للقطر الداخلي السرعة السطحية للغاز في غرفة الحرق تظل عند ٢٠ قدم/الثانية تقريباً. للخط العنيف ينتج في حالات ثبات درجة الحرارة تقريباً لكل الحلقة حيث درجة الحرارة تظل عند ١٤٥٠-١٦٠٠ درجة فهرنهايت وفي عدم الحاجة إلي ما بعد الموقد (After Burner). زمن المكوث النموذجي هو ٢ ثانية للغازات وحتى ٣٠ دقيقة للمواد الصلبة.



شكل (24/2) نظام الحارق بطبقة الفقاعات



شكل (24/3) نظام الحارق بالطبقة الدوارة

بالنسبة للاستخدام في مجال المخلفات الخطره فإن المواد الصلبة لطبقة التدوير يمكن أن تكون من الرمل، أو مادة حرارية مطحونة. في حالة استخدامات نظافة التربة، تكون التربة هي مادة الطبقة. إضافة كميات صغيرة من الحجر الجيري يحكم الحموضة. لذلك نظافة الغاز العادم بعد الميكرون تظل تتطلب مرشح الغبار من نظام كيس النسيج لازالة الغبار. لإمكان استخدام كيس الترشيح التقليدي فإنه يتم تبريد الغاز العادم إلى ما دون ٥٠٠ درجة فهرنهايت. جزء من المواد الصلبة الدوارة يتم سحبه من أن إلى آخر باستخدام ناقل حلزوني للتبريد لتجنب تراكم المواد الصلبة، الرماد، أو العناصر القلوية في حلقة التدوير.

النظام قد أظهر إمكان كفاءة تدمير وإزالة بنسبة ٩٩,٩٩٩% مع (Poly Chlorinated Pyphenol) والمركبات الأخرى المكورة التي يصعب تدميرها. مواد أخرى تم معالجتها بنجاح متضمنة بطانة المواد من أوعية من الألومنيوم، والذي يحتوي أملاح السيانيد أملاح الفلوريد، الكيماويات المساعدة، مواد ذخائر ، والتربة الملوثة بالهيدروكربونز.

الفصل الخامس والمشروع

استخدام المخلفات الخطرة كوقود للغلايات

25

قابلية الاستخدام لإشعال المخلفات: Applicability of Waste Firing

التكمير الحراري للمخلفات الخطره خلال الإشعال المشترك (Cofiring) مع الوقود التقليدي في الغلايات يستخدم علي نطاق واسع في الصناعة. يمكن أن يكون طريقة اقتصادية ومعتمدية للتخلص من المخلفات في الموقع بينما تتم استعادة الطاقة من حرارة احتراق المخلفات. من وجهة نظر المعدات المعنية، فإن الإشعال المشترك قابل للاستخدام علي نطاق واسع لأنواع لتصميمات الغلايات وأنواع للوقود المستخدم في صناعات إنتاج المخلفات. إستخدام الإشعال المشترك لتصميمات الغلايات ذات أنبوب اللهب (Fire Tube) ذات أنبوب الماء (Water Tube) وباستخدام الغاز والزيوت والفحم كوقود تقليدي. مواد المخلفات يتم عادة إشعالها كوقود بديل بمواقد مستقلة أو بمذفع الترزي (Atomizer Gun) وليس بالخط مع الوقود التقليدي. في ذلك السياق فإن التعديلات للإشعال المشترك للمخلفات ليس أكثر تعقيداً عن تطوير الغلاية للإشعال الثنائي للوقود. رغم أن بعض الغلايات تحصل علي جمع مدخلات الحرارة من إشعال المخلفات، فإن مدخلات المخلفات من ١٠-٢٥ % من المدخلات الكلية هو النموذجي بشكل أكثر. المخلفات ذات حرارة احتراق أكبر من (٥٠٠٠ وحدة حرارية/الرطل، ١١٦٠٠ كيلو جول/كجم) هي المناسبة للإشعال المشترك.

القيود علي كمية المخلفات التي يتم إشعالها المشترك قد يكون بسبب مكونات معينة، مثل الكلور، المعادن الثقيلة، المواد الصلبة العالقة والتي يمكن أن تنشط التآكل، وترسيبات وأوساخ مترسبة لأنابيب الغلاية (Fouling)، أو البري لمكونات نظام توصيل المخلفات. تلك التأثيرات هي الاعتبار الهام عند تقييم جدوي الإشعال المشترك. من وجهة النظر البيئية فقد أظهرت العديد من الاختبارات الحقلية أن الغلايات لها كفاءات لتكمير المخلفات مقارنة لتلك المستخدمة في المحارق وعلي الأداء الجيد للغلاية.

تكنولوجيا الإشعال المشترك للمخلفات: Waste Cofiring Technology

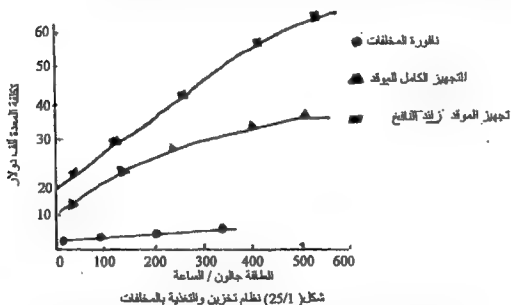
تكنولوجيا الإشعال المشترك للمخلفات الخطرة، كانت بتاريخ سابق لقوانين التخلص من المخلفات الخطره، حيث تعود إلي الوقت حيث كان يتم حرق المخلفات

لقيماتها الحرارية. التكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل المصاحبة كوقود بديل، ومع النوعية لوقود المخلفات، تم معالجته عادة بقيمة الحرارة التي تم استعادتها، في عام ١٩٨٣ تقريباً تم حرق حوالي ٧٠٠,٠٠٠ طن من المخلفات الخطره في الغلايات (في الولايات المتحدة). معظم تلك المخلفات كانت مخلفات سوائل عضوية منتجة من الصناعة الكيماوية وتم اشعالها في الموقع. الجدول الآتي يبين أن تكنولوجيا الإشعال المشترك مستخدمة علي نطاق واسع خلال الغلايات المستخدمة في الصناعات الكيماوية. الوقود التقليدي المقابل لتلك الغلايات هو ٤٦% غاز طبيعي، ٢٦% فحم، ٢٤% بترول، ٤% خلافة. مدخل حرارة الغلايات عند النهاية السفلي لطيف القدرة الإنتاجية، أقل من حوالي ٩ ميغاوات (٣٠ × ١٠ وحدة حرارية / الساعة) ، تكون غالباً غلايات من نوع أنبوب للهب بالموقد الواحد (Single Burner Fire tube) والتي يتم اشعالها كلية علي الغاز والزيوت. مجال القدرة للمتوسطة للغلايات من ٩ إلى ٧٣ ميغاوات (٣٠ × ١٠ إلى ٢٥٠ × ١٠ وحدة حرارية بريطانية) هو غالباً بتصميمات موقد واحد وماسورة مياه (Water Tube) معزولة لإشعال الغاز والزيوت، مواعد آلية ماسورة مياه لحرق الفحم Water Tube Stokers For Coal Firing . بعض الوحدات القديمة في مجال للقررات هذا هي بتصميمات للمواقد المتعددة ذات التشبيد الميداني (Field Erected) بوحدات عديدة تحولت من حرق الفحم مازالت في الاستخدام. أكبر الوحدات أكبر من ٢٥٠ وحدة حرارية في الساعة أو أكبر من ٧٣ ميغاوات هي تصميمات المواقد المتعددة بالتشبيد الميداني. لحرق الفحم، مع زيادة القدرة التصميمية فإن الوحدات تزداد بالحرق العالق (Suspension Fired) بالفحم المطحون، أكثر من الحرق الألي.

جدول (٢٥/١) عند الحرق في الصناعة الكيماوية التوزيع بقدرات الغلاية

حرق المخلفات في مجال قدره %	قدرة الغلاية	
	مليون وحدة حرارية الساعة / (10 ⁶ Btu/h)	ميغاوات (MW)
0.2	10>	2.9>
١١	١٠-٥٠	١٤,٦-٢,٩
٦	١٠٠-٥٠	٢٩,٢- ١٤,٦
٢٤	٢٥٠-١٠٠	٧٣- ٢٩,٢
٥٨	73<	250<

لمعظم الانشاءات القديمة بالاشعال المشترك، كانت قدرة الاشعال المشترك تم تعديلها لإدخال تحسينات (Retrofitted) بعد تشغيل وحدة الغلاية. زاد للوحدات الجديدة، احتواء متطلبات الإشعال المشترك في تكبير مواصفات للغلاية. الشكل (٢٥/١) مخطط التعديل لإدخال التحسينات للوقود العام للغلاية متعددة المواق، تفاصيل التصميم لإدخال التحسينات مستأقش في البند التالي. تقريباً كل الغلايات ذات الإشعال بمخلفات سائله تستخدم نظم مماثلة، حيث فيها يتم إدخال المخلفات إلى الغلايات منفصلاً عن الوقود التقليدي إما خلال موقد خاص للوحدات متعددة المواق، أو خلال وحدة ترزيز منفصلة لتصميم الموقد الواحد. مقادير التسخين للمخلفات المحترقة في الصناعة الكيماوية موجزة في الجدول (٢٥/٢). لقد ثبت أن ٦٥% للحرق للمخلفات في الغلايات يساهم بنسبة ٢٥% أو أقل لمدخل الحرارة إلى الغلاية حيث يتم اشعالها.



جدول (٢٥/٢) القيمة الحرارية للعالم المحروق في الصناعة الكيماوية

نسبة إجمالي المخلفات التي احتقرت	المحتوي الحراري للمخلفات	
	وحدة حرارية/الرطل	كيلو جول /كجرام
0.1>	2000>	4640>
٠.٥	٥٠٠٠-٢٠٠٠	١١٦٠٠-٤٦٤٠
١٢	١٠٠٠٠-٥٠٠٠	٢٣,٢٠٠-١١٦٠٠
٥٥	١٥٠٠٠-١٠٠٠٠	٣٤٨٠٠-٢٣٢٠٠
٣١	15000<	34000<

رغم أن إحصائيات الصناعة أظهرت الإشعال المشترك أنه يستخدم عادة، فإن الاستخدامات العادية هي فقط جزء من إمكانيات تكمير المخلفات. إتلاف المخلفات (Waste Destruction) في ١٩٨٣ لحوالي ٧٠٠٠٠ طن أقل من ٠,٥ من إجمالي المخلفات المنتجة التي تقدر بحوالي ٢٦٤ مليون طن. بالاشتراك مع الحرق (Incineration) والذي يمثل أقل من ٢% من المخلفات المنتجة. يقدر أن ١٥% من المخلفات المنتجة لها قيمة حرارية كافية ليتمكن إتلافها حرارياً، للطاقة الإضافية في المحارق تقدر بمليون طن، أو أقل من ٠,٥ من إجمالي المخلفات المنتجة. بالمقارنة، فإن قدرة الغلايات الصناعية للإشعال المشترك (Cofiring) لم يتم بذلها (Untapped) أو استخراجها، مع مخلات حرارة العادم العادية المقدرة لأقل من ٠,٥% للطاقة المشيدة في الصناعة الكيماوية. الاعتبارات الهامة المتعلقة بفاعلية استخدام طاقة الغلاية المتاحة للإشعال المشترك للمخلفات موضحة بالجدول (٢٥/٣).

التصميم واعتبارات التشغيل:

المكونات واعتبارات التشغيل في الغلاية المحسنة أو الموجودة، أو توصيف غلاية جديدة للإشعال المشترك للمخلفات هي:

- تخزين ونقل المخلفات.
- تعديلات الموقد.
- تشغيل الغلاية.
- الأمان.

تجهيزات التحكم في تلوث الهواء يمكن كذلك إضافتها أو تعديلها لحرق المخلفات الصلبة، أو في حالة المخلفات ليست علي غير العادة عالية للمحتوي من الكلور، المعادن، المواد الصلبة العالقة. فإن الاعتبارات المدققة للتصميم والحد الذي تؤثر به تلك الاعتبارات علي معدل حرق المخلفات، أو اقتصاديات حرق المخلفات، يتوقف علي مجالات الخواص الكيميائية والطبيعية لتلك المخلفات، خواص المخلفات هذه يجب تقييمها لتصميم معين للغلاية واستخدامات وحدة الإنتاج لتقدير مدى توافق المخلفات مع الغلاية، ومدى الآثار الضارة للحرق المشترك.

العموميات والحدود المطلقة كما في حالة عملية التشغيل المقبولة عادة تكون غير مناسبة، كل حالة تحتاج إلي إعادة النظر مع مائع الموقد أو الغلاية.

تخزين ونقل المخلفات

نظام التخزين والنقل الموضح في الشكل (٢٥/١) هو مثالي للاستخدامات الصناعية للحرق المشترك رغم أن كثيراً من المصانع تستخدم كذلك خزان يومي صغير قريباً من غرفة الغلاية، خاصة إذا كانت وحدات عديدة يتم خدمتها بواسطة خزان حفظ مركزي.

اعتبارات التصميم للخزان المركزي والخزان اليومي تركز علي استمرار ضخ خليط ذو مكون متجانس الذي يمكن ترزيذه بواسطة للموقد. إذا كان خام المخلفات يحتوي علي نسبة كبيرة من الماء الحر أو للمواد الصلبة غير الذائبة، فإن المخلفات يجب معالجتها بالترسيب ثم الامتصاف (Decantation) للسائل المروق قبل إدخاله إلي نظام للحرق المشترك للمخلفات، معظم المخلفات تكون غير متجانسة إلي حد ما والخزان المركزي والخزان اليومي عادة يتم خلطها باستمرار بواسطة للغلايات (Agitators) أو بواسطة ظلمبات التدوير (Recirculation). حيث يستخدم التدوير باستمرار يتم عادة استخدام المصافي (Strainers) لخفض للمواد الصلبة، لحماية الظلمبات، والمواد تحت التيار ومكونات الغلاية. وهذا هام خاصة إذا كانت المخلفات تحتوي مواد صلبة أو معادن تسبب للبري بالاحتكاك (Abrasive) ذات الامكانيات العالية للتآكل أو الترسبات البكتيرية (Fouling). المصافي عادة تكون مؤثرة في خفض المواد الصلبة أكبر من حوالي ٤٠ ميكرومتر. بالإضافة إلي أنه إذا كانت المخلفات لزجة، فإنه قد يلزم استخدام لفائف مواشير للتسخين بالبخار في الخزانات لاستمرار القدرة علي الضخ والترزيز وخاصة في حالة المناخ البارد.

الوقود : (Burners)

تصميم الموقد وتشغيله للاشعال المشترك يتم توجيئه نحو الحصول علي التحذير والخط للحصول علي لهب مستقر له احتراق جيد للكربون عند الاتلاف العالي للمخلفات. للغلايات الصناعية، قدرة للتجفيف للحمل يمكن أن تؤثر بشدة علي استخدام الاشعال المشترك، وهي أقل تحكم بسهولة عند حالات التحميل المنخفض والتجفيف أو الخطط العالي (Turn-Down). معظم العمال تقطع اشعال المخلفات عند أحمال أقل من ٢٠-٣٠% من الطاقة للتصميمية. عند توقف اشعال المخلفات فإن بندقية المخلفات يتم دفعها لتجنب حدوث تكويك (Coking). الخطط العالي لإشعال المخلفات يمكن تحسينه إذا كان الإمداد من خزان اليوم له حلقة عودة التدوير بحيث أن جزءاً فقط من المخلفات التي يتم ضخها يعود إلي الموقد.

هذا الأداء يقلل كذلك من الاضطراب والتغير السريع في تدفق المخلفات، والذي يمكن أن يسبب الدخان وتدفقات اللهب إلى الخارج (Flameouts) في نظام مستقيم.

سواء تم إشعال المخلفات كوقود مزدوج (Dual Fuel) من موقد واحد أو خلال موقد مخلفات منفصل، فإنه يوصي ببندقية المخلفات المزدوجة (Dual waste Gun) بحيث أن الرزازات يمكن تنظيفها بدون إحداث اضطراب للمخلفات. نافورات (Nozzles) المخلفات عادة يتم ترزيزها بالهواء أو البخار، حيث البخار يكون عادة للمخلفات ذات النوعية المتكينة ذات المواد الصلبة العالقة. في حالة عدم ترشيح المواد الصلبة المسببة للاحتكاك والبري في خطوط الامداد فإنه قد تكون هناك الحاجة إلى مستدقات ترزيز (Atomizer Tips) ذات المقاومة للبري من الكريد (Carbide). بالنسبة للمخلفات الزرجة، فإنه قد يلزم تسخين الخطوط لتحقيق الترزيز الجيد.

حتى في حالة التصميم المناسب للمرزوز ونظام الإمداد، فإن لهب المخلفات يكون أكثر خشونة وتغير بسبب عدم التجانس. لاحتواء ذلك، فإنه يلزم عمل اثنين من التطوير لنظم تحكم الغلايات. نظراً لأن تغيرات لهب العادم قد تعترض نظام تأمين اللهب للوحدات متعددة المواقف، فإن المنطق الآمن للتشابك لتوقف الغلاية خلال انطفاء اللهب يمكن تطويره ليتطلب انطفاء اللهب في ما لا يقل عن واحد من المواقف التي تشغل الوقود التقليدي.

لتحكم في تدفق الوقود من العادم، تحديداً عند تغيرات التحميل، يتم عمله يدوياً في كثير من الصناعات طبقاً لمتطلبات التحميل التي يتم مقابلتها بالوقود التقليدي. هذا يقلل امكانيات للتسخين (Smoking) وانطفاء اللهب الذي يمكن أن يحدث في حالة التغير السريع لتدفق المخلفات. المشكلة في تدفقات المخلفات والثبات تقل حداثها عادة إذا كانت الغلاية لها التسخين المسبق لهواء الاحتراق، أو في حالة ترزيز المخلفات خلال اللهب التقليدي.

عمل الغلاية: (Boiler Operation)

الموضوع الرئيسي للتشغيل هو خفض تأثيرات إشعال المخلفات على مواد الغلاية، الصيانة، وكفاءة الوحدة. تلك التأثيرات، زيادة عن أى عامل آخر، تملئ أقصى مستويات للمخلفات التي تكون مجدية للإشعال المشترك طويل الأمد، تأثيرات الإشعال المشترك على عمل الغلاية يمكن أن يكون أقل كثيراً باستخدام مواد مناسبة لتداول المخلفات.

مشاكل المواد والصيانة تظهر أساساً من المواد غير العضوية، مثل الرماد، المعادن والكلور الموجودة في المخلفات. الرماد والمعادن ترسب و/أو تتكشف علي حوائط المياه في مقطع الفرن وعلي أنابيب مقطع الحمل الحراري. حدوث الخبث الناتج والترسيبات العضوية يقلل من كفاءة الانتقال الحراري ويمكن أن ينشط التآكل، خاصة، في حالة كون المخلفات أو الوقود ذات محتوى عالي من الكبريت أو الكلور. الترسبات العضوية للعفن (Fouling) يمكن أن يكون مشكلة في التصميمات للإشعال بالغاز حيث أنبوب الحمل الحراري (Convective Tube) ذات ممرات محكمة الإغلاق للفواصل. كذلك فإن الأسطح الحرارية تكون حساسة لعنونة الكيماويات بواسطة ترسيبات الخبث، وخاصة المعادن القلوية، إجراءات التخفيف تشمل زيادة نفخ السناج والترشيح الجيد للمخلفات، أو تخفيف المخلفات بمركبات مخلفات أكثر نظافة، يكون كذلك من الضروري أن لهب المخلفات لا يرتطم علي الحوائط الجانبية أو الحائط الخلفي خلال مجال التحميل، بالنسبة للوحدات الجديدة، أنبوب الماء، المواد الحرارية وتصميم الحمل الحراري يمكن اختيارهم لخفض تأثير العنونة للكيماوية والترسيبات العضوية.

مصدر التآكل المرتبط بالإشعال المشترك (Cofiring) هو عنونة الكلور الذي يمكن أن يحدث عند احتراق المخلفات المهلجنة (Halogenated). مستويات الكلور المركب في الوقود للعادم الذي يزيد عن ١,٥-٢,٥ % يمكن أن يسبب تآكل لمواسير المياه (Water Tube) إلا في حالة استخدام مواد خاصة أو استخدام طرق خاصة، مستوي البداية هذا يتم عادة تجنيه في الصناعة بحرق المخلفات بمستويات كلور أقل من ٥% والذي يعطي مستوي كلور مركب أقل من ٢%. حتي في حالة تجنب التآكل في جانب اللهب بتقييد مستويات الكلور، فإنه يظل من المهم استمرار درجات الحرارة عند المخرج لمقطع الحمل الحراري فوق نقطة الندى للحامض (Acid Dew Point) لمنتجات احتراق ($HCl-H_2O$) لتجنب لتآكل للطرف البارد، يوصي كذلك بالمداخن غير المعدنية أو المدخن المبطنة.

التأثير الأولي للإشعال المشترك علي الكفاءة ينتج من المستويات العالية للهواء الزائد الذي هو ضروري مع المخلفات لاستمرار ثبات اللهب وضمان الاحتراق للكربون أو أول أكسيد الكربون. متطلبات الهواء الزائد تكون أعلا من المخلفات ذات النوعية المتدنية وغير المتجانسة وذات المحتوى المنخفض من المخلفات المتطايرة النظيفة المتجانسة.

في الواقع بعض المنيات العضوية المتطايرة يمكن حرقها بنظافة تزيد عن الفحم أو الزيت الثقيل. المستويات العالية من الهواء الزائد يمكن كذلك أن تكون مطلوبة للحصول على درجات حرارة أعلا لقطاع الحمل الحراري. هذا الأداء يمكن كذلك استخدامه لخفض تآكل الطرف البارد خلال العمل عند الأحمال المنخفضة.

تأثيرات كفاءة أخرى تنتج من المياه الحرة في المخلفات أو النسبة العالية لكل من الهيدروجين إلى الكربون . والتي تزيد من فقد المياه خارج المدخنة، التغير في نسبة H: يمكن كذلك أن يغير من لمعان اللهب وخواص الانتقال الحراري للهب من الإشعاع الغازي، هذا يمكن أن يحول عمل الامتصاص للحراري في الفرن وبذا يؤثر على فقد المدخنة. التأثير الكلي للإشعاع المشترك هو عموماً عند أنهاء إذا كانت المخلفات لها خواص مشابهة للوقود التقليدي.

الأمان: Safety

الإشعاع المشترك للمخلفات الخطره قد يتطلب إجراءات أمن خاصة بالإضافة إلى تلك اللازمة لإضافة الوقود البديل. تلك المخلفات المصنفة كقابلة للحرق (Ignitable) يمكن أن تحتوي مركبات عالية التطاير، وزيادة مخاطر الانفجار تحتاج مراعاتها عند تصميم تنفيث الخزان (Tank Vents) ، وتوصيف بنادق التريز للمخلفات لإحباط التطاير المسبق (Prevolatization) في خطوط الاستقبال. المخلفات ذات الخواص السامة تحتاج إلى إجراءات أمن حازمة لتجنب التسرب والانزلاق. طرق الصيانة الروتينية مثل تغيير المصافي، نظافة أطراف المرز، ونظافة أسطح الانتقال الحراري للغلاية يلزم تطويره لحماية العمال. يلزم كذلك احتواء أو اقتصاص الانبعاثات المتسربة من تنفيث الخزان، عازل للظلمة، والمحابس.

التأثيرات البيئية: Environmental Effects

التجاوز البيئي بالحرق المشترك للمخلفات الخطره هو أن البنية الحرارية للغلاية تنتج كفاءة تدميرية وإزالة عالية كافية للمكونات الأساسية العضوية التي يتم حرقها. نسبة كفاءة التدمير والإزالة تعرف لكل من المكونات العضوية الخطره بالمعادلة .

$$100 \times (1 - \frac{M_{out}}{M_{in}}) = \text{نسبة كفاءة التدمير والإزالة للمكونات العضوية الخطره}$$

حيث :

M_{out} = معدل تدفق الكتلة لمكونات عضوية خطره معينة في المدخنة أو رماد
نو علاقة أو تدفقات غسيل المنبعث.

M_{In} = معدل تدفق الكتلة لمكونات عضوية خطره معينة نحو الغلاية خلال مسار تغذية المخلفات.

مركب كفاءة التدمير والإزالة، للكتلة الموزونة لكل المكونات العضوية الخطره التي تحرق في الغلاية، يستخدم كذلك للتعيين الكلى لإمكانية الغلاية في التدمير الحراري. علاقات بيئية أخرى هو إمكانيات تكوين منتجات خطره غير تامة الاحتراق من نواتج الاحتراق الوسيطة لمكونات المواد العضوية الخطره مع احتمال من الوقود التقليدي. كذلك، توجد خطورة في أن إضافة لهب للمخلفات سوف يفسد البيئة الحرارية، بذا يزيد من سوء الانبعاثات المقبولة من اللهب التقليدي، واحتمال لإخال أكسيد الكربون، أو انبعاثات الكربون غير المحترق من المخلفات أو الوقود التقليدي. الجدول (٢٥/٢) يبين مواصفات الغلاية ، الاشتعال المشترك للمخلفات وحالات التشغيل العامة. عموماً الغلايات والمخلفات المختارة شملت المجالات الآتية:

- الوقود التقليدي: الغاز ، الزيت، الفحم ، الخشب.
- المخلفات: المخلفات المتطايرة وشبه المتطايرة التي تتراوح ما بين المخاليط المائية إلي المذيبات المشتعلة.
- تصميمات الغلاية: مواسير اللهب (Fire Tubes)، مواسير الماء، للوقاد (Stakers).
- الحمل: ٠,٣٥ إلي ٣٢ كجرام/الثانية بخار (٢٥٠٠ إلي ٢٥٠٠٠ رطل/الماعة).
- زمن البقاء (الفرن): ٣، ٠، ٢ ثانية.

جدول (25/2) موجز الاختبارات مع القلايات

نوع المادة	نوع التغطية	تغطية البهر				حجم الحفر	مساحة الجدار	العمق (م)	عدد الموائد (مقعد واحد)	المادة من العلم	الكلية	تجهيز التحكم	التعليق التوضيحي
		في الساعة	10 دقائق	عمر	في الساعة								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	الطبقة الثانية	1.3	10	17.4	61.3	106	1144	الخشب	2	حجم	الخشب مع الخشب	المسكون	أصل متفرقة ، هراء
B	الطبقة الأولى	1.1	8.5	1.1	39	8	83	طبيعي	1	مياه صرف	زيت	لا شيء	أصل متفرقة ، هراء
C	الطبقة الأولى	29	230	322	11400	170	1800	طبيعي	6	مقعد	الزيت	لا شيء	أصل متفرقة ، هراء
D	الطبقة الأولى	11.4	90	62	2200	140	1520	زيت	4	مقعد	الزيت	لا شيء	أصل متفرقة ، هراء
E	الطبقة الأولى	13.9	110	42	1480	665	7160	زيت	1	مقعد	الزيت	لا شيء	أصل متفرقة ، هراء

أفران الأسمنت

Cement Kilns

26

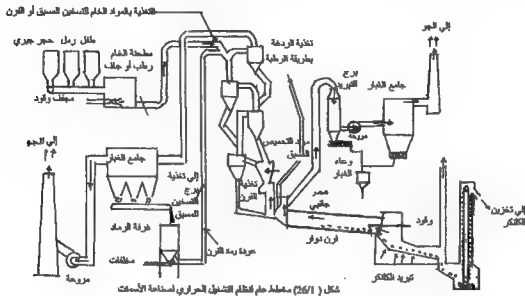
١. مقدمة:

أفران الأسمنت البورتلاندي أثبتت أنها وسائل مؤثرة لقيمة الاستعادة من المخلفات، للعديد من الاختبارات أوضحت أنه لا يوجد إختلاف في الإنبعاثات ، نوعية المنتج، أو المواد المتبقية المنتجة عند استخدام مواد المخلفات كبديل للوقود والمكونات المطلوبة لإنتاج خبث الأسمنت (Cement Clinker) إدارة للمخلفات في أفران الأسمنت أصبح محل خلاف لأسباب سياسية واقتصادية هذا الخلاف كان له تأثير كبير علي صناعات الأسمنت البورتلاندي وإدارة المخلفات والقوانين المنظمة لذلك.

صناعة الأسمنت البورتلاندي منتشرة علي نطاق واسع في كل العالم. ينتج الأسمنت البورتلاندي في أفران ذات درجة حرارة عالية جداً بتسخين الكالسيوم والسيليكون، والالومنيوم، وكاسيد الحديد إلي درجات حرارة تزيد عن ١٤٢٥°م (٢٦٠٠°فهرنهايت). مخطط لمرحل تصنيع الأسمنت موضح في الشكل (١/ ٢٦). أفران الأسمنت يمكنها احتواء العديد من أنواع الوقود، ودرجة حرارة التشغيل العالية تؤكد للتميز الكامل للمكونات العضوية في الوقود. استبدال الوقود الحفري مثل الفحم ، الكوك، الزيت، والغاز الطبيعي بالمخلفات ذات الطاقة العالية مثل قاع المقطر، للمذيبات، القار، الإطارات، المخلفات أصبح عادياً مع زيادة أسعار الطاقة وأن القوانين البيئية أصبحت واسعة الإدراك، صناعة الأسمنت تمثل تقنية عالية لإدارة المخلفات الخطره والأنواع الأخرى من المخلفات في كل العالم.

بالإضافة إلي المخلفات القابلة للإحتراق، فإن أفران الأسمنت يمكن استخدامها لمعالجة أنواع كثيرة أخرى من المخلفات. أفران الطريقة الرطبة (Wet Process) يمكنها المياه عالية الملوحة (Brines) والمخلفات المائية الحاملة للمعادن، المخلفات الحامضية يمكن معالمتها واستخدامها لتغذية الفرن. الحماة للصلبة مثل حماة الجير - الشبه (Lime Alum) من محطات معالجة المياه يمكن إستخدامها لإنتاج الأسمنت. المخلفات الحاملة للمعدن من مصادر عديدة يمكن كذلك استخدامها لتوفير الحديد، الألومنيوم، أكاسيد السيليكون اللازمة للإنتاج . كميات ضخمة نسبياً من المعادن الثقيلة يمكن معالمتها

بإمان في أفران الأسمنت لأن تلك المعادن تكون ثابتة في مكانها (Immobilized) حيث يسخن جزء من الأسمنت أو من غيار فرن الأسمنت، للمواد المهلجنة ، التي يمكن أن تكون من الصعب معالجتها خلال تقنيات أخرى، تكون مفيدة لإزالة الصوديوم والبيوتاسيوم الزائد الذي يمكن أن يكون موجودا في المواد الخام التي يصنع منها الأسمنت. العامل الرئيسي هو العائد الاقتصادي المقبول لحل مشاكل التداول والتشغيل.



٢. المواد المقبولة والحدود: Acceptable Materials And Limitations:

أ. نوع المخلّفات:

أفران الأسمنت هي بديل منقلب لإدارة نوعيات كبيرة من المخلفات الخطره. المادة الخام المستخدمة لإنتاج الأسمنت تحتوي عادة كميات قليلة (Trace) من كل من العناصر الطبيعية، بما فيها الكلوريدات القلوية والكبريتات، المعادن الثقيلة، مثل الرصاص، للكالسيوم، الكروم، للزرنيخ والمواد العضوية. كثيراً من تلك المكونات يكون كذلك موجوداً في الوقود الحفري مثل الفحم، زيت البترول، والكوك البترولي، وفي الماء المستخدم لتحضير الردغة لأفران الطريقة الرطبة. المواد الموجودة في التغذية، الوقود، أو المخلفات الخطره التي دخلت للفرن تصبح جزءاً من منتج الأسمنت ومادة مخلفات تعرف بغبار فرن الأسمنت أو تتحول إلي أشكال أخرى خلال القرن. باستثناءات قليلة، المواد التي أدخلت إلي أفران الأسمنت سوف تتأكسد وتثبت ولا تحتاج إلى معالجة تالية.

ب. وقود المخلفات الخطرة:

إستخدام المخلفات الخطرة القابلة للاحتراق كوقود في أفران الأسمنت أصبح عادياً خلال العشرة سنين الماضية. قبل عام ١٩٧٠ كان كلا من الغاز الطبيعي والزيوت هما الوقود المفضل بسبب سهولة التداول والقوام والتكلفة. بعد أزمة أسعار البترول في عقد ١٩٧٠، فإن صناعة الأسمنت تحولت إلى الفحم وبدأت تبحث عن وقود بديل منخفض التكاليف. كوك البترول، ونفايات الفحم، الإطارات للكلية أو المتقطعة، الوقود الناتج من المخلفات تم استخدامهم بنجاح كوقود لأفران الأسمنت.

ج. وقود المخلفات السائلة: Liquid Waste Fuels

لاستخدام المخلفات السائلة القابلة للاحتراق كوقود بديل بنجاح، فإن أفران الأسمنت تحتاج إلى إستعادة مناسبة للمخلفات، فصل المواد، التحليل. مخلفات الطلاء (Paint Thinner)، مذيبات إزالة للشحوم، مذيبات الغسيل من صناعة الأحبار والطباعة، المنتجات الكيماوية الثانوية من الصناعات الكيماوية والدوائية، مخلفات الزيوت، ومواد أخرى قابلة للاشتعال وقابلة للضخ تلك يمكن استخدامها لتحضير الوقود عالي النوعية لأفران الأسمنت. المكونات الأولية لوقود المخلفات الخطره من تلك المصادر هو Methy Ethy ketone و Mixed Aliphatic Hydrocarbons, Acetone, Toluene, Xylene. أنواع عديدة من مركبات عضوية أخرى والتي تشمل:

Adlydes, Esters, Alcohols, Ketones, Phthalates, Alcohol. Ethers, (such As Cell Osolve), Aromatic Compounds,

وجدت عادة في مخاليط وقود المخلفات الخطرة. تم الموافقة علي استخدام ما يزيد عن ٢٥٠ مركب عضوي في وقود المخلفات الخطره.

المواد العضوية للصلبة مثل الشعيريات، للبلمرات، المطاط، البلاستيك، الرقائق العالقة يمكن كذلك أن توفر طاقة مفيدة، اختيار المركبات المقبولة يتوقف أساساً علي العوامل في الجدول (٢٦/١).

جدول (٢٦/١) للمواصفات النموذجية للوقود المشتق من المخلفات

المحتوي الحراري	١٠٠٠٠ وحدة حرارية / الرطل
الرائحة	مستوي مقبول وليست منفرة
المواد الصلبة العالقة	أقل من ٥٠٪ كحد أقصى
الكبريت	أقل من ٣٪ كحد أقصى
النيتروجين	أقل من ٣٪ كحد أقصى
الهالوجينات	أقل من ٥٪ كحد أقصى
الماء	١٪ (مجال منفصل)

العدوانية إجمالي الرماد	رقم هيدروجيني متوسط (pH) أقل من ١٠٪
الهاريوم	٥٠٠٠ جزء في المليون كحد أقصى
الكروم	١٥٠٠ جزء في المليون كحد أقصى
الرصاص	٢٥٠٠ جزء في المليون كحد أقصى

تقريباً أي مركب عضوي يمكن تدميره تماماً عند درجات الحرارة العالية في فرن الأسمنت الذي يعمل بطريقة جيدة. قيود عمليات التشغيل كما ستناقش في البند (٤) يمكن كذلك أن تصبح هامة عند وجود مركبات معينة بكميات كبيرة. ولكن أفران الأسمنت، يمكن أن تستخدم وقوداً قذراً جداً وينتج نوعية أسمنت. فمثلاً المنهيات المكشورة، الراتنجات، المخلفات المحتوية على كميات كبيرة من الرصاص ومعادن ثقيلة أخرى يمكن استخدامها كوقود لأفران الأسمنت بدون تأثيرات بيئية ضارة، ولكن، الأسعار المتكثفة للوقود الأولي تقوم بدور في تقسيم وقود المخلفات الخطره ما بين الأفران الصناعية مثل أفران الأسمنت، والغلايات للصناعية، التي تتطلب وقوداً نظيفاً. عملياً، فإن الفحم المطحون، كوك البترول، قطع الإطارات يكون من الصعب حرقها مقارنة بوقود المخلفات الخطره القابل للضخ، على شرط الحدود المناسبة للمحتوي الحراري، الهالوجينات، للزوجة، الرماد، ومعادن ثقيلة معينة.

المخلفات المائية الرطبة: Aqueous Wastes

كميات ضخمة من المخلفات الخطره المائية تم استعمالها بفاعلية في أفران الأسمنت. الكثير من تلك المخلفات يكون محلول ملحي قوي، المواد التي تحتوي معادن ثقيلة، أو أحماض غير عضوية. الأحماض المعدنية يمكنها إطلاق ثاني أكسيد الكربون بما يوفر طاقة الوقود للكلسنة (Calcining). طبقاً للميزان القلوي، فإنه يمكن أن تكون حامض الهيدروكلوريك، حامض الكبريتيك، حامض الهيدروفلوريك، مفيدة. الأحماض العضوية أو المخلفات يجب تجنبها كمكونات تغذية. التحلل الحراري للمكونات العضوية عند التسخين لمواد الشحنة يمكن أن يطلق كلا من مستويات الانبعاثات العضوية وكذلك (Dioxins).

المحاليل المائية المحتوية على فلوريد الصوديوم تم استخدامها بنجاح لاستبدال ردة الماء في العملية الرطبة. عملية الفرن الرطب واحدة ذات ٦٢٥ طن/اليوم بخرت ما يزيد عن ٣٧٨٠٠٠ لتر/اليوم (١٠٠٠٠٠ جالون/اليوم) من الماء. هذا الماء يستخدم لعمل ردة التغذية للفرن مع نسبة ماء ٣٠-٤٠% هذا الفرن يستخدم ما يزيد عن ١١٠ مليون لتر/ السنة من الماء. للمعادن الموجودة في المخلفات يتم في خبث

الأسمنت أو غبار الفرن. الأحماض غير العضوية القوية يمكن معادلتها عند انطلاق ثاني أكسيد الكربون من الحجر الجيري المستخدم لتحضير تغذية الردغة في العملية الرطبة.

القيد للهام الوحيد نحو استخدام المخلفات المائية في أفران العملية الرطبة هو وجود الملوثات العضوية في تنفق المخلفات الرطبة (المائية). كثيراً من المخلفات المائية تحتوي على كميات قليلة من الملوثات العضوية، التي أدخلت إما خلال العملية أو خلال ضعف الأداء الذي ينتج عنه اختلاط تنفقات المخلفات. الملوثات العضوية الموجودة في المخلفات المائية المستخدمة لتحضير الردغة (Slurry) يتوقع أن تتبخر عند تغذيتها إلى الفرن. الملوثات العضوية الموجودة عند مستوى أقل من ٠,١% (١٠٠٠ جزء في المليون) في المخلفات السائلة المستخدمة ١٠% من الردغة لفرن طاقته ٦٢٥ طن في اليوم تنتج زيادة في الانبعاثات العضوية بما يقترب من ١,٦ كيلوجرام/الساعة (٣,٥ رطل/الساعة). فصل وعزل مواد المخلفات والمعالجة المسبقة لتنفقات المخلفات المائية قد يكون ضرورياً لإحكام تلك الانبعاثات من المركبات العضوية. أحد البدائل يمكن أن يكون المعالجة المسبقة بالكربون المنشط لإزالة المواد العضوية وحرق مخلفات الكربون المنشط كوقود في منطقة الحرق للفرن.

المكونات الصلبة من المخلفات:

المخلفات الصناعية للصلبة الخطره أو العادية يمكن استخدامها كمكونات في تغذية أفران الأسمنت. مخلفات الخبث المحتوية على الحديد من مصانع الحامض والعمليات الصناعية الأخرى تم استخدامها بنجاح مع مصانع الأسمنت ذات الخلط الضعيف من الحديد. المخلفات الحاملة للحديد أو المنتجات الثانوية قد تحتوي كميات كبيرة من معادن أخرى، حماة الجير من محطات المعالجات الخاصة للمياه تحتوي إيدروكسيدات الألومنيوم والكالسيوم. الكثير من تلك المواد مفيد ومؤثر في صناعة الأسمنت. المخلفات للصلبة العضوية مثل القار، الحماة، واللبلاستيك يمكن إتلافها وتدميرها بطريقة مؤثرة من خلال التطل الحراري (Pyrolysis)، باستخدام غاز التطل بالحرارة العالية (Pyrolyzer Gas) كوقود لفرن الأسمنت. الرماد يمكن أن يصبح جزءاً من تغذية الفرن طبقاً للمكونات الكيميائية للرماد.

المواد غير المطلوبة: Unacceptable Materials

رغم أن أفران الأسمنت يمكنها إحتواء العديد من المواد سواء كوقود أو كتغذية لصناعة الأسمنت، فإنه توجد حدود نحو استخدام مواد المخلفات الخطره، كما توجد

مواد غير مرغوبة في تصنيع الأسمنت، المواد غير مرغوبة يمكن تقسيمها إلى نوعين، تلك غير المقبولة تكنولوجيا بسبب القيود على التصنيع وتلك غير المقبولة بسبب عدم القبول الشعبي. كمية الصوديوم والبوتاسيوم والكلوريدات والكبريتات والكروم والرصاص والمعادن الأخرى تكون محدودة طبقاً لكميات تلك المواد الموجودة في الشحنة وأنواع الوقود الأخرى عند كل مصنع معين. ولكن، من المهم معرفة أن الكميات الزائدة من أى ملوث يتوقع أن تنتج تأثيرات ضارة بالنسبة للتشغيل أو الإنتاج كما في حالة عدم استقرار تشغيل الفرن، ضعف نوعية الأسمنت، تلف الحراريات، رائحة الأسمنت المنفرة، أو مخاطر الأمان غير المقبولة. تلك العوامل يجب أن يتم تقييمها على أساس كل حالة على حدة، كذلك فإنه من الممكن إنتاج تأثيرات بيئية ضارة جداً خلال الانبعاثات للزائدة من المعادن السامة. كلا من الحاجة إلى الإدارة الجيدة لغبار الفرن المتبقي وطبيعة الاستخدام للغبار قد ينتج عنه حدود وقيود تكنولوجية نحو قبول مخلفات خطره معينة في أفران الأسمنت.

القبول الجماهيري وتأمين العاملين يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند قبول المخلفات الخطره استخدام في أفران الأسمنت.

المبيدات والمواد شديدة الخطورة يمكن تدميرها عند الحرق في فرن الأسمنت. كذلك فإنه يجب أن يؤخذ في الاعتبار نظام تدلول تلك المخلفات مثل النقل والتخزين، كذلك فإن أهمية تدريب العمالة عند استخدام المخلفات الخطره يمكن أن تكون عقبة. الروائح المنفرة وانبعاث المركبات العضوية يضع قيوداً على قبول مواد المخلفات. فمثلاً، بسبب مشكلة الرائحة، مركبات الكبريت (Merceptans) و (Sulphides) تحتاج إلى تدلول خاص والذي له تأثير على العائد الاقتصادي. استخدام الحماة العضوية والمواد الأخرى المحتوية على مركبات عضوية في شحنة فرن الأسمنت غير مرغوب بسبب زيادة الانبعاثات العضوية والرائحة الكريهة.

٣. تصنيع الحراري للأسمنت: Cement Pyroprocessing

أفران الأسمنت يتم تصنيعها بالعديد من التصميمات والاحجام. الفرن الصغير يمكن أن ينتج ٨,٩ طن في اليوم فقط، مقارنة بالفرن الكبير الذي ينتج ١٧٥ طن في اليوم. معظم الأفران القديمة تستخدم تكنولوجيا الطريقة الرطبة (Wet Process)، والتي وأن كانت أكثر سهولة إلا أنها أكثر استهلاكاً للطاقة. الأفران ذات الطريقة للجافة الحديثة تتضمن تصميمات لتحسين كفاءة الطاقة واحتواء مواد خام مختلفة، ولكن، درجات الحرارة العالية وكيمياء إنتاج الاسمنت هي نفسها أساساً في جميع أفران الأسمنت من منطقة الحرق إلى منطقة التكلس (Calclning Zone).

الطبيعة الكيميائية للأسمنت: Cement Physio-Chemistry

الأسمنت يتم إنتاجه بتسخين الحجر الجيري المخلوط مع الرمل والطين أو الطفل الصفحي (Shale) أو الطفلة لإنتاج منتج بسيط يسمى الخبث أو الكلنكر (Clinker)، الذي يتم عندئذ طحنه مع الجبس. أفران الأسمنت تنتج الكلنكر من مواد الشحنة التي تحتوي تقريباً ٨٠% كربونات الكالسيوم (CaCO_3)، ١٥% ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2) ٣% أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3)، ٢% أكسيد حديدك (Fe_2O_3). الشحنة التي يتم تغذيتها للفرن يتم تسخينها في مبادلات حرارية بالاتجاه المعاكس، حيث يتم تبريد الماء من الشحنة، يليها التكليل (Calcination)، أو تصاعد (CO_2) من للكربونات عند ٩٠٠-٥٠٠°م (٩٣٠ - ١٦٥٠ درجة فهرنهايت). أكسيد الكالسيوم (CaO) المتكون يتفاعل مع (SiO_2) مكوناً قهرنيت). يتكون كلا من ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ -Dicalcium Silicate) ما بين ٨٥٠°م إلى ١٢٥٠°م (١٥٦٠ - ٢٨٨٠ قهرنيت). يتكون كلا من ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ -Tricalcium Silicate) و ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ -Tetra) Calcium Alumino Ferrite عند درجة حرارة أعلا من ١٢٠٠°م (٢١٩٠ قهرنيت). منتجة مجال سائل الذي يذوب فيه كلا من داي كالسيوم سيليكيت وأكسيد الكالسيوم. درجة الحرارة التي يتكون عندها هذا المجال السائل تتوقف على أصهورية (Eutectic) للمخلوط، والتي تتأثر بالمكونات نادرة وقليلة الكميات (Trace). فمثلاً، فلوريد الكالسيوم عند مستويات ٠,١% يمكن أن يخفض درجات الحرارة اللازمة لتكوين المجال السائل بحوالي ٢٥°م. للتفاعل المنتج للحرارة (Exothermic) ما بين داي كالسيوم سيليكيت وأكسيد الكالسيوم لتكوين ترائي كالسيوم سيليكيت يحدث في المجال السائل ويرفع درجة الحرارة إلى ١٤٥٠°م تقريباً (٢٦٤٠°م فهرنهايت) طبقاً للكميات النسبية لكل من الألومنيوم، الحديد، السيليكون، أكسيد الكالسيوم ومواد أخرى التي يمكن أن تكون موجودة في الخليط. بهدف الحصول على درجة حرارة تكوين الكلنكر (Clinkering Temperature) فإن احتراق الغازات في منطقة الحرق لأفران الأسمنت يجب أن تزيد عن ١٦٥٠°م (٣٠٠٠°م فهرنهايت) مخطط لنظام التصنيع الحراري للأسمنت شكل (٢٦/١).

التبخير والتكثيف: Volatilization And Condensation

درجات حرارة فرن - الأسمنت، للمواد التي تعتبر عادة غير متطايرة لا تتصهر فقط تغلي. هذا موضح في الجدول التالي الخاص بدرجات حرارة الانصهار والغليان للمواد ذات العلاقة.

المادة	درجة حرارة الانصهار °م	درجة حرارة الغليان °م
كلوريد البوتاسيوم KCl	٧٩٠	١٤٠٧
كلوريد الصوديوم NaCl	٨٠٠	١٤٥٦

١٥٠٠	٨٨٤	كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4)
١٤٧٧	٨٥٠	أكسيد الرصاص (PbO)

من السهل تفهم لماذا أن للصوديوم والبوتاسيوم في الشحنة أو الوقود سوف يتبخر عندما يكون هناك الكلوريد أو الكبريتات المتاح بالنسب للتكافؤية، بالمثل فإن مركبات الرصاص التي تتخل مع وقود المخلفات لخطره سوف تتبخر في منطقة الحرق وتحمل مع الغازات العادمة إلى مناطق أبرد للفرن.

في معظم أفران الأسمنت، تظل للغازات العادمة أعلا من ١١٠٠ م (٢٠٠٠ فهرنهايت) لحوالي ٣-٥ ثانية مع اقتراب الغازات لمنطقة التكتل. الغازات العادمة تبرد سريعاً مع انتقال الحرارة إلى مواد الشحنة في منطقة التكتل (Calcining). الغازات العادمة الخارجة من مدخنة الفرن تكون عند درجات حرارة ما بين ١٢٥ م (٢٥٠ فهرنهايت)، ٣٠٠ م (٥٧٠ فهرنهايت). بالتالي فإن كلوريد البوتاسيوم، أكسيد الرصاص، أو المواد الأخرى التي تتبخر في منطقة الحرق سوف تتكثف إلى جسيمات تغطية الأسطح (Particle Surfaces) مفضلة ذلك على الهروب مع غازات المدخنة.

المواد التي تتبخر في منطقة الحرق تصبح جسيمات غازية أصغر من ٠.١ ميكروميتر (0.1 Mm) في الحجم. الجسيمات الصغيرة لها نسبة كبيرة ما بين السطح والكتلة.

فهي تبدي حركة براونيان (Brownian Motion) وتصطدم مع جسيمات أخرى، حيث تتكثف عند درجات حرارة أبرد. بالتالي، فإن المواد التي تبخرت في منطقة الحرق سوف تميل إلى التراكم على أسطح الجسيمات الأصغر من مواد الشحنة. مع مواد الشحنة التي احتجزت، فمثلاً، الكلوريدات المتبخرة تتحرك نحو المناطق الأكثر سخونة للفرن، فإن المكونات المتطايرة تتبخر مرة ثانية وتكون ثانياً خلال نظام الفرن. الإثراء بالكلوريدات القلوية والمواد المتطايرة الأخرى يحدث في شحنة التغذية للفرن، نموذجياً في المنطقة ذات درجة حرارة ٨٠٠ م تقريباً (١٤٧٥ فهرنهايت)، إلا في حالة إزالة تلك الكلوريدات القلوية من نظام الفرن. للكلوريدات القلوية والمكونات القلوية الأخرى غير المرغوبة يمكن إزالتها من عملية تصنيع الأسمنت باستخدام المرسب الكهروستاتيكي أو كيس النسيج (Bag House). الجسيمات الصغيرة تحتجز بسرعة في غازات عادم الفرن. بالتالي، فإن الجسيمات الأصغر تتحرك نحو المرسب الكهروستاتيكي أو كيس النسيج تقضيلاً عن الانبعاثات في الجو. للمرسبات، يستمر فصل حجم الجسيم هذا لكل مجال كهربائي تنابعي، بحيث أن الغبار المجمع في

المجالات الأخيرة يميل إلى أن يكون أصغر كثيراً في الحجم وغني بالكوريدات القلوية والكبريتات. طبقاً للعملية، وكيمياء المواد الخام والوقود، فإن جزءاً من غبار الفرن يعود إلى العملية لخفض فاقد للشحنة. بالنسبة للمرسبات الكهروستاتيكية فإنه يمكن إعادة الغبار من المجالات الأولى وفاقد للغبار عالي للقلوية من المجالات الأخيرة. من الصعب عمل ميزان مادي للمواد المتطايرة في ظروف العمل الديناميكية. ولكن، الانبعاثات في الجو تكون صغيرة جداً ولكن تعيينها بسهولة خلال الاختبار الحقيقي لمدخنة الفرن.

أفران الأسمنت بالطريقة الرطبة : Wet Process Cement Kilns

الفرق الأولي بين تصميمات الفرن هو في تحضير مواد شحنة التغذية للفرن قبل التكليس (Calcination). في أفران الطريقة الرطبة ، يتم تحضير الشحنة في شكل ردة (Slurry) محتوية على الماء بنسبة ٣٠-٣٥ %.

الحجر الجيري والرمل والطفلة يتم طحنهم في مطحنة رطبة (Wet Mills) لإنتاج شحنة تغذية متجانسة، خلط الردة ينتج شحنة شديدة التجانس، والتي تنتج عملية مستقرة لمعظم أفران الطريقة الرطبة. يمكن إضافة المخلفات المائية ومخلفات خطره صلبة معينة إلى خام المطحنة عند تحضير الردة.

يتم ضخ الرغة إلى الطرف العلوي للفرن للدوار، الذي يكون مائلاً عند زاوية ٥ درجة تقريباً، مع دخول الردة للفرن فإنها تبدأ في التحرك نحو طرف الحرق بفعل قوة الجاذبية. الغازات العادمة يتم دفعها من منطقة الحرق نحو طرف دخول الشحنة للفرن باستخدام مراوح دفع تيار الغازات (Induced Draft Fans). للتبادل المعاكس لتيار دخول شحنة المواد والغاز للعادم ينقل الحرارة من الغاز مع تبخر الماء وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون. أفران الطريقة الرطبة تستخدم مئات الأطنان من السلسلة العالقة داخل الفرن قرب طرف الدخول للشحنة لتعزيز الانتقال الحراري من الغازات العادمة إلى مادة الشحنة. هذا عادة يعرف بمنطقة السلسلة (Chain Zone)، حيث درجات حرارة العادم تنخفض من ١٠٠٠ إلى ٣٠٠ م تقريباً (١٨٣٠ إلى ٥٧٠ درجة فهرنهايت) ودرجات حرارة المادة تزداد من ٢٥ م إلى ٥٠٠ م تقريباً (٧٥ إلى ٩٣٠ درجة فهرنهايت). الماء والمركبات العضوية المتطايرة في الردة يتم تبخيرها في منطقة السلسلة. بالمثل المواد التي كانت قد تبخرت في منطقة الحرق (Burning) تميل إلى إعادة التكثف (Recondensate) في منطقة السلسلة. الغبار المحتجز في الغاز العادم من الفرن أو منطقة السلسلة يرسل إلى المرسب الكهروستاتيكي أو الكيس النسيجي (Bag House) والعودة ثانياً إلى الفرن أو إلى آلة كخار للفرن.

أفران الأسمنت بالطريقة الجافة : Dry Process Cement Kilns

أفران الأسمنت الحديثة تستخدم تكنولوجيا الطريقة التي توفر الطاقة المستخدمة في تبخير ردة الماء. فرن الطريقة الجافة الجيد يستهلك ٦٠ % من الطاقة اللازمة لإنتاج طن من الأسمنت في فرن الطريقة الرطبة.

ولكن، طحن الخام وتجانس مواد شحنة للتغذية يكون أكثر صعوبة، وتصميم فرن التسخين المسبق (Preheater) للحديث أكثر تعقيداً، بما يتطلب زيادة في تحديثات لإحكام العملية.

يوجد العديد من تصميمات فرن الطريقة الجافة. الأفران ذات أبسط انواع التصميم، تعرف بالأفران الجافة الطويلة، يشبه إلي حد كبير أفران الطريقة الرطبة، مستخدماً السلاسل عند طرف للتغذية للشحنة للانتقال الحراري وأطوال فرن طويلة جداً (٣٠٠ متر - ٥٠٠ قدم) لكلسنة (Caldine) وتحضير الشحنة. أفران الطريقة الجافة الحديثة تستخدم تعليق السخان المسبق (Suspension Preheater) أو السخانات المسبقة لمصبعة ليوبولد (Leopold Grate Preheaters) لتحضير وتكليس شحنة الغذاء قبل دخولها الفرن الدوار. تقريباً من ٣٠ إلى ٦٠% من وقود الفرن قد يتم حرقه في أفران الكلجنة المسبقة (Precalciner Kilns) حيث قد تتم إزالة حتى ٩٠% من ثاني أكسيد الكربون من الحجر الجيري قبل دخوله للفرن.

أفران الطريقة الجافة تستخدم كذلك المرسبات الكهروستاتيكية والكيس النسيجي لجمع الشحنة المجرورة (Entrained Feed) والمواد التي تبخرت ثم أعيد تكثيفها كجسيمات دقيقة. في نظم السخان المسبق الحديثة معظم وإن لم يكن كل المادة التي جمعت في مجمع الغبار (Dust Collector) يتم عودتها كشحنة غذاء. لذلك البديل لإزالة الكلوريدات القلوية المتطايرة والكبريتات يتم تضمينه في تصميم معظم أفران الطريقة الجافة. تلك تعرف عادة كنظم للمرير الجانبي للقلوي (Alkalib Pass)، وهي تعمل بإزالة الغازات من الفرن عند نقطة قبل إعادة التكثف للمواد المتطايرة نحو أسطح شحنة الغذاء. غاز المجري الجانبي (By Pass Gas) يتم عندئذ تبريده باستخدام الهواء الجوي ورشاشات المياه، يليه إزالة الجسيمات العالقة باستخدام مرسب كهروستاتيكي أو كيس نسيجي خاص.

أفران التسخين المسبق المجهزه بالممر الجانبي يمكنها تحمل مستويات عالية من الصوديوم، البوتاسيوم، والكلوريد. ، والكبريتات في شحنة التغذية ومادة الوقود. ولكن توجد عقوبة (Penalty) مصاحبة لزيادة عمل الممر الجانبي للضروري لإزالة كميات إضافية من الكلوريدات القلوية والكبريتات أفران السخان المسبق غير المجهزه بممر جانبي محدودة جداً بالنسبة لتجاوز القلوي والكلوريد بسبب إعادة تكثيف الكلوريدات القلوية المتطايرة وتراكمها عند عمق إزالتها، وانسداد سيكلون السخان المسبق.

٤. تجهيزات وقود المخلفات الخطرة: Hazardous Waste Fuel Facilities

في برنامج تداول وقود المخلفات الخطرة ، فإنه يلزم تحاليل صارمة لكل شحنة من المخلفات لضمان تأمين العامل وتوفير المعلومات للمسؤولين. قبل الإعداد والموافقة علي النقل والتخزين والتخلص فإن كل منتج للمخلفات يجب أن يكون قد سبق تأهيله . للتأهيل المسبق يشمل التحاليل الشاملة لتعيين المكونات العضوية باستخدام

(Gas Chromatography Equipped with Name, Ionization and Electron Capture Detectors)

يستخدم (Gas Chromatography Coupled with Mass Spectrometry). لتعيين

المكونات الكيماوية المعينة بدقة كبيرة - للمعادن يتم تعيينها باستخدام (Atomic absorption Spectrometry)

المحتوي الحراري ، الرماد، الكلوريدات، الكبريت، والنيتروجين يتم تعيينهم باستخدام قنبلة قياس السعر الحراري (Bomb Calorimetry) وكذلك باستخدام (Ion Chromatography). هذا بالإضافة إلي تعيين للزوجة، نقطة الوميض، التوافقية مع مخلفات خطرة أخرى كوقود باستخدام التأهيل اللازم.

خزانات حفظ وقود المخلفات الخطرة يجب أن يتم تجهيزه بقلابات لتعليق المواد الصلبة وإعداد وقود متجانس. ذلك مع توفير وسائل الضخ والمصافي والمرشحات.

مواد المخلفات المتبقية: Residual Waste Materials

المصفاة ومرشح الحمأة: Strainer And Filter Sludge

إعداد المخلفات الخطرة إلي وقود المخلفات الخطرة. ينتج عنه توليد مواد متبقية. المخلفات الخطرة التي يتم ضخها من العربة الحاملة تحتوي علي كثير من المواد التي يلزم إزالتها مثل المطاط، الانقاض، الأتلام البالية، البلاستيك، ... إلخ. تلك المواد يتم فصلها من وقود المخلفات الخطرة باستخدام المصافي أو بالطحن لحماية الطلمبات والمعدات الأخرى من التلف والانسداد. للمصافي والمرشحات يجب أن يتم نظافتها من أن إلي آخر. والمخلفات المتبقية يجب إدارتها كمخلفات خطرة. التطوير الحالي نحو تداول المواد الصلبة والحمأة في أفران الأسمنت قد استبعدت توليد المخلفات الخطرة حيث يتم عودة تلك المواد إلي العملية.

غبار فرن الأسمنت: Cement Kiln Dust

صناعة الأسمنت لها منتج ثانوي تقليدي يعرف بغبار فرن الأسمنت الذي يتم إعادته جزئياً إلي العملية ولكن يتم تخزينه أولاً كمخلفات صلبة. له استخدامات في مشروعات تثبيت التربة كما يمكن استخدامه لتثبيت المخلفات الخطرة السائلة للتخلص

في الأرض (Land Disposal). كما تم شرحه سابقاً فإن غبار فرن الأسمنت غني بكلوريدات وكبريتات الصوديوم واليوتاسيوم وكذلك مركبات المعدن المتطايرة مثل أكسيد الرصاص. الغازات العادمة التي تترك فرن الأسمنت تحتوي على نسبة كبيرة من جسيمات صغيرة لأن تلك سهلة الحمل في تدفقات الغاز. لهذا السبب فإن غبار فرن الأسمنت له قطر كتلة بمتوسط حوالي ١٠ ميكرومتر ($10\mu m$). غبار فرن الأسمنت يتكون أساساً من حبيبات مطحونة دقيقة من كربونات الكالسيوم، ثاني أكسيد السيليكون، أكسيد الكالسيوم وكلوريدات وكبريتات الصوديوم واليوتاسيوم. مركبات معدنية مختلفة وأملاح أخرى طبقة للمادة الخام والوقود، المكونات القريبة لغبار فرن الأسمنت كالآتي:

النسبة بالوزن %	المكون
٥٥,٥ ($CaCO_3$)	كربونات الكالسيوم
١٣,٦ (SiO_2)	ثاني أكسيد السيليكون
٨,١ (CaO)	أكسيد الكالسيوم
٧,٦ (K_2SO_4)	كبريتات اليوتاسيوم
٥,٢ ($CaSO_4$)	كبريتات الكالسيوم
٤,٥ (Al_2O_3)	أكسيد الألومنيوم
٢,١ (Fe_2O_3)	أكسيد الحديد
١,٣ (MgO)	أكسيد المغنيسيوم
١,١ ($NaCl$)	كلوريد صوديوم
٠,٤ (KF)	فلوريد اليوتاسيوم
٠,٦	خلافه
١٠٠ %	الإجمالي

غبار فرن الأسمنت شديد الرغبة للماء. عند إضافة الماء إلى غبار فرن الأسمنت تتكون منتجات التميؤ (Hydration) بما يسبب حدوث تصلب للغبار أو الشك (Setting). إجهاد الضغط يزيد عن ٤٢٢٠٠٠ كجرام/المتر المربع (٦٠٠ رطل على البوصة للمربعة) والذي ينتج عند حدوث الشك للأسمنت لمدة سبعة أيام في وعاء مغلق مع الماء الحر. إضافة حوالي ١٠-١٥ % ماء بالوزن تسبب غبار فرن الأسمنت

ليصبح لزجاً (Sticky) ، ويمنع حدوث الانبعاث الانفلاتي من غبار هبوب الرياح. بسبب صغر حجم الحبيبات ، فإنه توجد مساحة سطحية كبيرة متاحة لغبار فرن الأسمنت. مع تحرك الماء نحو المصام والفراغات بين الحبيبات فإن للتفاعل السطح بين الماء والغبار بسبب أن حدوث التصاق طبيعي للماء. كما في حالة كثير من أنواع لطفلة فإن غبار الأسمنت يقتصص ما بين ٤٠-٥٠% من وزنه ماء قبل الوصول إلي التشبع. هذا الماء يكون عالقاً خلال الغبار بالجانب السطحي، حيث يسبب نفاذية ضعيفة للغبار المشبع. النفاذية في حدود من (١٠-٢٠) إلي (١٠-٢٠) سم/ث (١-١٠ قدم/اليوم) هو المثالي. لذلك، يكون من الصعب جداً تحريك الماء خلال غبار فرن الأسمنت بعد الفسك. مصدر ومقدار الرصاص في المواد الخام، للوقود، غبار فرن الأسمنت تم دراسة في نظام فرن الطريقة الجافة الذي يمكن وصفه كالآتي:

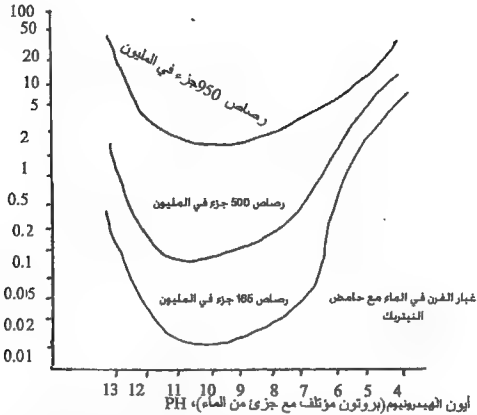
المكون	الدخل ، طن/الساعة
الشحنة إلي الفرن	١١٦
خبث الكلنكر المنتج	٦٧
الفحم أو الكوك المحترق	٨
غبار الفرن الناتج	٤
وقود المخلفات الخطره (٣٠٪ طاقة)	٣,٦

علي أساس الوزن، ١٠ جزء في المليون من للرصاص في شحنة الغذاء للفرن تكون مساوية لـ ١٥٠ جزء في المليون من الفحم أو الكوك، ٣٣٠ جزء في المليون من وقود المخلفات الخطره ، ٣٣٠ جزء في المليون في رماد فرن الأسمنت. لقد أثبتت الأبحاث والدراسات أن كل الرصاص من وقود المخلفات الخطره يوجد في رماد فرن الأسمنت. أقسام مختلفة من الرصاص ومعادن أخرى بين خبث الكلنكر ورماد فرن الأسمنت قد يحدث في نظم بعض الأفران. ولكن، معظم المركبات المعدنية المتطايرة عند درجات حرارة منطقة الحرق تميل إلي التراكم في رماد فرن الأسمنت. فمثلاً، معظم الرصاص يجب أن يوجد بالضرورة في رماد فرن الأسمنت في حالة إنتاجه. ولكن، مركبات الرصاص يجب أن تتبعث من المنخنة أو توجد في الكلنكر في حالة سخان الفرن المسبق (Preheater) غير المعد بممر جانبي لجمع الغبار.

إذابة وحركة الرصاص ومعادن أخرى في رماد فرن الأسمنت شديدة الأهمية نحو اعتبار الاستخدام طويل المدي أو التخزين الأرضي لرماد فرن الأسمنت كمخلفات منتج ثانوي. ربما يكون الرصاص أفضل مثال للمعدل الثقيل في رماد فرن الأسمنت

لأنه يوجد بتركيزات تزيد عن ١٠ جزء في المليون في وقود المخلفات الخطره، وهذا ينتج عنه زيادة كبيرة في محتوى رماد فرن الأسمنت من الرصاص في حالة أفران الأسمنت التي تقوم بحرق وقود المخلفات الخطره، نظرياً تركيز الرصاص المذاب لمحلول معين يمكن تعيينه من مبادئ الديناميكا الحرارية (Thermodynamic) في نظام بسيط محتوي على أيونات الرصاص وماء، فإن تركيز الاتزان للرصاص المذاب يكون صغيراً جداً في المحاليل المتعادلة والمحاليل ضعيفة القلوية لأن أكسيد الرصاص غير المذاب (PbO) سوف يكون راسباً. في المحاليل الحامضية (حيث الرقم الهيدروجيني (pH) أقل من ٥)، فإن أكسيد الرصاص يمكن إذابته حيث تنطلق أيونات الرصاص في المحلول. بالمثل في المحاليل عالية القلوية (حيث الرقم الهيدروجيني (pH) أعلا من ١٢)، فإن أيونات الرصاص يمكن أن تتدخل المحلول في شكل مركبات معقدة من أيدروكسيد الرصاص المائي مثل $(Pb(OH)_2)$. ما بين رقم هيدروجيني ٥، ١٢ توجد كميات كبيرة من كربونات الرصاص $(PbCO_3)$ ، كربونات أيدروكسيد الرصاص $[Pb_3(CO_3)_2(OH)_2]$ في أشكال رصاص راسب غير مذاب. نظراً لأن غبار الفرن يحتوي أكسيد الكالسيوم، فإن محاليل الماء مع رماد فرن الأسمنت تكون قلوية، وجود تلك المكونات القلوية والمستوي العالي من الكربونات يحقق لغبار الفرن طاقة درئ عالية (Buffer Capacity)، نظام الكربونات ذات الدرئ العالي والرقم الهيدروجيني يخفض من إذابة الرصاص في بيئة رماد فرن الأسمنت.

الشكل (٢٦/٢) يبين العلاقة بين الرصاص المذاب والرقم الهيدروجيني كدلالة للتركيز الكلي للرصاص في عينات رماد فرن الأسمنت المنتجة في مصنع (Lafarge)، واقعياً كل الرصاص في رماد فرن الأسمنت لهذا المصنع متاحاً للترسيب في اتزان مائي لأن الرصاص تم ترسيبه على أسطح الجسم. بالنسبة للرماد المحتوي على الرصاص الذي مصدره شحنة تغذية الفرن، فإن جزء الرصاص المذاب سيكون أقل ولكن يظل مرتبطاً لإجمالي الرصاص في رماد فرن الأسمنت، ولكن، فإن ذلك المصنع حيث كان المحتوي من الرصاص الكلي ١٦٥ جزء في المليون حيث الإذابة الكلية كانت أقل من ٠,٠٥ ميكرومتر علي السنتمتر المكعب $(0.5 \mu m / ml)$ (وهذا يمثل معايير مياه الشرب الآمنة) خلال رقم هيدروجيني (pH) في المجال من ٦,٢ إلى ١٢,٨. الرصاص المذاب يزداد مع زيادة الرصاص الكلي. أدنى إذابة للرصاص تحدث عند رقم هيدروجيني ١٠ (pH_{10}) تقريباً.



شكل (26/2) تأثير الرقم الهيدروجيني والرماد الكلي على إذابة الرصاص في الماء

أيونات الرصاص المذاب الملتصقة مع رماد فرن الأسمنت ليست منطلقة نحو البيئة لأن حركة الرصاص تكون معاقة بشدة بالامتصاص السطحي لأيونات الرصاص في التربة وجسيمات أخرى، بيانات لمتصاص الرصاص في الطفلة، للكريونات، لكاسيد المعدن المائية ورواسب النهر تبين أن ما يقرب من ٩٠ % من الرصاص الموجود في المحلول يتم لمتصاصه على الأسطح الصلبة. الرصاص الذي يذوب في الماء ملتصقاً مع الرماد يتم إزالته من المحلول مع تحرك الماء خلال الامتصاص السطحي وترسيب أكسيد الرصاص غير المذاب وأملاح الكربونات. إطلاق الرصاص من الرماد يمكن إحكامه بخفض الالتصاق مع كميات زائدة من الماء واستخدام إدارة مخلفات جيدة. الرصاص المثبت في رماد الفرن الموضوع فوق خط المياه الجوفية ومنفصلاً عن مياه العواصف والأمطار يظل جافاً بسبب رغبة الرماد الشديدة للماء. أيونات الرصاص التي تدخل المحلول يتم إزالتها بالامتصاص على أسطح الأجسام الصلبة القريبة من الرماد. لذلك فإن حركة الرصاص المثبت بواسطة الرماد تكون محدودة جداً. هذه المجموعة من العوامل تبين تأثير أفران الأسمنت نحو تثبيت المعادن الثقيلة في مادة رماد فرن الأسمنت.

التقييم البيئي : Environmental Assessment

اختبارات انبعاثات الفرن:

العديد من الدراسات حول انبعاثات الهواء من أفران الأسمنت التي تقوم بحرق المخلفات الخطرة والتي شملت تقييمًا لمولوثات الهواء التقليدية، مثل جسيمات المادة، ثاني أكسيد الكبريت، وكاسيد النيتروجين بالإضافة إلي المعادن الثقيلة والمولوثات العضوية. العديد من اختبارات الانبعاثات علي الأفران التي تقوم بحرق الوقود التقليدي ووقود المخلفات الخطرة أظهر أنه لا توجد تغير واضح في انبعاثات الهواء عند الاستخدام الصحيح لوقود المخلفات الخطرة كبديل عن الوقود التقليدي. توجد نتائج نحو خفض الانبعاثات عند حرق وقود المخلفات الخطرة في الفرن. هذه الامكانيات ناتج عن انخفاض الكبريت وقود المخلفات الخطرة وسهولة احتراق هذا الوقود مقارنة بالوقود التقليدي. التغيرات الطبيعية في ظروف العمل خلال نظام الفرن ونظم إحكام الانبعاثات تسبب تغير أكثر في الانبعاث مقارنة باختبار الوقود. هذا بالإضافة إلي أن التغيرات في المواد الخام والتغيرات في الوقود الحفري يمكن أن يسبب تغير أكثر في انبعاثات الفرن عن استخدام الوقود للمخلفات الخطرة.

عند إزالة القلويات، للكلوريدات، للكبريتات، فإن حجم الحبيبة يكون ذو أهمية كبيرة، الأفران المجهزة بالمرسبات الكهروستاتيكية يمكنها إثراء رماد فرن الأسمنت انتقائياً بالمكونات المتطايرة ذلك لأن المواد التي تم تجميعها في المجالات النهائية تميل إلي أن تكون دقيقة أكثر من الجسيمات التي جمعت في المجالات الأولى. إزالة المجالات الأخيرة وإعادة الغبار من المجالات الأولى يقلل فاقد رماد فرن الأسمنت بينما تظل إزالة للكلوريدات والكبريتات القلوية غير المرغوبة.

التغيرات في طبيعة رماد فرن الأسمنت الذي جمع في المجالات الأخيرة قد يؤثر علي المقاومة أو بسبب الالتصاق للمادة علي أقطاب التجميع (Collecting Electrodes). لذلك، فإنه قد يكون من الضروري بعض من عمليات الضبط للمرسب الكهروستاتيكي لاستمرار التوافق مع حدود الانبعاث. ولكن الفرن الذي يسار روتينياً حرق الوقود التقليدي يتوقع أن يظل يسير حرق وقود المخلفات الخطرة.

تدمير وكفاءة الإزالة للمعادن الثقيلة:

Destruction And Removal Efficiency of Heavy Metals:

الانبعاثات من المولوثات العضوية والمعادن الصغيرة بكميات صغيرة جداً كانت نقطة التركيز لكثير من الأبحاث علي أفران الأسمنت التي تقوم بحرق المخلفات الخطرة، في مدة تزيد عن ٢٠ عام عرف أن أفران الأسمنت يمكنها تدمير (Poly

(Chlorinated Biphenyls) إلي مستويات دون حدود الاكتشاف في غاز المدخنة، بالمثل، الاختبارات علي المواد الممنوعة مثل

(Perchloroethylene), (Carbontetra Chloride), (Sulfur Hexa floride), (Chloro benzenes) ، أظهرت أن أفران الأسمنت يمكنها تحقيق كفاءة تدمير وإزالة تزيد عن ٩٩,٩٩%. هذا ليس غريباً حيث الدراسات المعملية وكذلك مبادئ الديناميكا الحرارية أظهرت أن كل المواد العضوية سوف يتم تدميرها عند درجات حرارة تزيد عن ١٠٠٠ م° خلال زمن تفاعل مدته ٢ ثانية.

ولكن، الدراسات التي أظهرت كفاءة التدمير والإزالة أقل من ٩٩,٩٩% كانت بسبب عدم الإحترق الكامل والأخطاء في التحاليل. البنزين (C_6H_6) يوفر مثالاً لمنتجات الاحتراق غير الكامل. البنزين يتكون عادة أثناء حرق الفحم، كوك البترول، متبقي الزيت، وحتى الغاز الطبيعي في أفران الأسمنت إذا تم بسبب التغير الكبير في تصميم الفرن وكفاءة الطاقة، فإن الانبعاثات من أفران الأسمنت قد تتراوح ما يقرب من ١٠ جرام-مول/كجم كلنكر (٢٠٠ رطل/مول/طن كلنكر) إلي ما يزيد عن ٢٢٥ جرام-مول/كجم (٤٥٠ رطل-مول/طن كلنكر) للعام. الفرن الذي ينتج ٨٩ طن/الساعة يمكن أن يكون له انبعاثات قياسية ١٠٠ متر مكعب/الثانية (٣٥٠٠ قدم مكعب/الثانية). مستهلكاً ٣٦٩ جول في الساعة (٣٥٠ مليون وحدة حرارية / الساعة). هذا يكفي ٣١٠٠٠ رطل / الساعة من الوقود ذو محتوى حراري ٢٥ مليون جول/كجم (أي ١١٢٥٠ وحدة حرارية/الرطل) أو ٢٥ مليون جول/لتر (٩٠٠٠ وحدة حرارية/الجالون) والذي هو نموذجياً لوقود المخلفات الخطره. إذا افترضنا أن هذا الفرن يحرق ١٠٠ % وقود المخلفات الخطره بمعدل ٢٥ مليون جالون/اليوم فإنه يمكن حساب الانبعاثات المسموح بها للحصول علي ٩٩,٩٩%. كفاءة التدمير والإزالة للمكونات الرئيسية للمواد العضوية الخطره الموجودة عند مستويات ١٠%، ١٠%، أو حتي ٠,٠٥%.

الانبعاثات المسموح بها للحصول علي نسبة تدمير وإزالة ٩٩,٩٩		المكونات العضوية الخطره
جرام/م ^٣	كجم/الساعة	
٣٩٠	٠,١٤١	١٠
٣٩	٠,٠١٤١	١
٣,٩	٠,٠٠١٤١	٠,١

قيمة الحد العتبي (Threshold Limit Value) لتأمين مكان العمل عند التعرض لمعظم المواد الخطره يكون أعلا كثيراً عن تركيز غاز المدخنة قيمة الحد العتبي للمواد

السامة نسبياً، مثل الرصاص (٢٠٠ ميكروجرام/م^٣) الأوزون (٥٠ ميكروجرام/متر مكعب)، الزئبق (٥٠ ميكروجرام/متر مكعب) أعلا من تركيز المدخنة المسموح به بالنسبة لتركيز المواد العضوية الخطره عند ١% في المخلفات الخطره التي تحرق عند ١٠٠% من الطاقة في فرن الأسمنت التقليدي.

للتأكد كفاءة تدمير وإزالة بنسبة ٩٩,٩٩% خلال العمل العادي، فإنه يلزم عزل استخدام وقود المخلفات الخطره في ظروف العمل ذات التأثير السئ والتي تشمل:

١. انخفاض الأكسجين.
٢. ارتفاع نسبة أول أكسيد الكربون.
٣. انخفاض درجات الحرارة.
٤. ضغط موجب في منطقة الحرق.
٥. أقصى تقنية تحكم يمكن الحصول عليها:

حامض الهيدروكلوريك، المعادن الثقيلة: Dioxins.

من بين ١٨٩ مادة تم التعرف عليها كمكونات هواء خطره ، فإن حامض الهيدروكلوريك فقط الذي ينبعث من أى فرن للأسمنت بكميات تزيد عن ١٠ طن في العام.

انبعاث المعادن الثقيلة من أفران الأسمنت يعتمد علي عدد من العوامل، متضمنة كفاءة تجهيز التحكم في تلوث الهواء، القابلية للتبخر وتكوين مركبات المعدن خلال المنظومة، توليد غبار فرن الأسمنت ، وجود معادن معينة في المواد الخام والوقود، مركبات الكاديوم متطايرة عند درجات حرارة عالية (٢٦٠٠-٣٥٠٠ فهرنهايت) في منطقة الحرق ولكنها تتكثف كجسيمات إيروسولات في المناطق الباردة من الفرن. الأفران ذات المحتوي الزائد نسبياً من الكاديوم في المواد الخام أو الوقود قد تكون قادرة علي الحد من انبعاثات المدخنة بإنتاج كميات ضخمة من رماد فرن الأسمنت لإزالة الكاديوم من النظام. الفرن الذي يبعث كميات عالية من الكاديوم قد يكون باعث قليل للكروم أو معدن آخر. كل هذا يعتمد علي تصميم الفرن والمواد الخام. يصعب التحكم في انبعاثات الفرن باستثناء انبعاثات حامض الهيدروكلوريك. يبدو أن شق الكلور يلعب دوراً هاماً في تكوين الديكسين في أفران الأسمنت. زيادة مستويات الأكسجين يمكن أن تزيد من تركيز غاز الكلور وشق الكلوريد للحر خلال التفاعل بين الأكسجين وكلوريد للهيدروجين. عموماً، يوجد الكلور الكافي من المصادر الطبيعية

لتعزيز تكوين الدايوكسين إذا كانت درجة الحرارة والمواد العضوية (المنتجة) في المجال المناسب. التحكم في الدايوكسين يكون بخفض درجات حرارة تجهيزات تلوث الهواء، المؤقت عند درجة الحرارة العالية، تركيز المواد العضوية في شحنة للتغذية.

خزانات الحفظ والانبعثات:

وقود للمخلفات الخطره يحتوي علي مزيينات متطايرة مثل الأسيتون والميثانول.. إلخ. ضغط البخار سوف يزداد عن ١٠٥٠ كجرام/م^٢ (١,٥ رطل/البوصة المربعة) عند درجات الحرارة العادية، عند ضخ السوائل في الخزانات فإن الأبخرة يتم إزاحتها. ملء خزان ٢٥٠٠ جالون (٩٥٠٠ لتر) بالمخلفات الخطره يتوقع أن ينتج انبعثات مقدارها ٢٣ كيلو جرام (٥٠ رطل) لكل دورة تحميل. انشاءات الغطاء الطافي الداخلي يقلل من تلك الانبعثات.

انبعاثات المواد العضوية للمتطايرة يجب مراعاتها في تصميم وعمل تجهيزات تخزين المخلفات الخطره، أثناء النقل، للتخزين، التداول فإنه يتوقع انبعثات من الطلمبات، الخلطات، المحابس، الفلنجات، وعمليات الصرف من الخراطيم بالإضافة إلي الدلق (Spills) مقدار تلك الانبعثات يمكن خفضه خلال مراحل التصميم والتشغيل.

أثر نوعية الهواء: Air Quality Impact

أفران الأسمت هي مصادر صرف مرتفعة التي توفر تشتت ممتاز في الجو، علي الأساس السنوي، تركيزات مستوي الأرض لفرن للأسمت تكون أقل من واحد علي مليون من متوسط تركيز المدخنة هذا للمستوي العالي من التشتت والانتشار يحدث لأن أفران الأسمت تكون مجهزة بمدخنة يزيد ارتفاعها عن ٦١ متر (٢٠٠ قدم)، ودرجات حرارة العادم العالية والزيادة للحظية في الارتفاع المؤثر للمدخنة الذي يزيد عن الارتفاع الحقيقي حتي لفترة زمنية قصيرة مثل واحد ساعة، فإن غازات المدخنة يتم تحقيقها في الجو بمعامل يزيد عن ١٠٠٠٠. لذلك فإن غازات المدخنة التي تحتوي علي ١٠٠ ميكروجرام/المتر المكعب ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) من مادة (Endrin) كمثال سوف يتم تخفيفها إلي تركيز يقل عن ٠,١ ميكروجرام/م^٣ ($0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$) عند مستوي سطح الأرض. لذلك فإن الأخطار البيئية تقل كثيراً بمقارنة الانبعثات من مصادر النقطة المرتفعة (المدخنة) فإن خزان الحفظ والانبعثات تحدث عند أو قريباً من مستوي سطح الأرض، ولا يوجد ارتفاع لحظي لاحداث التشتت، خلال فترات الهدوء والتحول الجوية يتوقع أن تسبب خزانات الحفظ انبعثات ذات تركيز يزيد عن العادي. لذلك فإن التعرض للمهني واستخدام معدة للحفظ المناسبة مثل أجهزة سحب الأبخرة

العضوية خلال أخذ العينات، نظافة الترشيح، وكذلك حماية العمال باستخدام نظارات الوقاية، المهمات غير النفاذه.

الخلاصة:

يمكن استخدام أفران الأسمنت لمعالجة للعديد من أنواع المخلفات الخطرة. الإدارة الجيدة يمكن تنفيذها بدون زيادة في الانبعاثات أو التأثير علي البيئة. العديد من المخلفات الخطره له قيمة كبديل للمواد الخام أو الوقود، بما ينتج عنه الاستفادة وليس التدمير والتثبيت. يمكن عمل التغيرات في الأفران المقامة لاحتواء المخلفات الخطرة بدون اتفاق كبير. بالإضافة إلي التغيرات للمصادر الموجودة لا يخلق مصدرًا جديدًا للانبعاثات، كما يمكن أن ينتج من انشاء محرقة مخلفات خطره جديدة. لتلك الأسباب فإن استخدام أفران الأسمنت لإدارة المخلفات للخطرة يتوقع أن يزيد خلال العقود القادمة.

الأكسدة الرطبة

Wet Oxidation

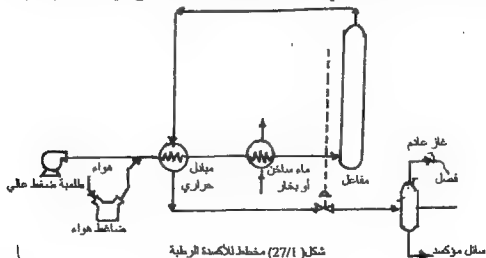
27

١. الوصف العام:

الأكسدة الرطبة هي عملية الأكسدة في المجال المائي والتي تتم عند إذابة أو تعلق مركب عضوي و/أو غير عضوي قابل للأكسدة، والخلط جيد مع مصدر غازي للأكسجين (عادة هواء) عند درجات حرارة من ١٢٥-٣٢٥°م. (٣٠٢-٦١٧°فهرنهايت). تظل المحافظة على ضغط ٢٠٦٩-٢٠٦٩ كيلو بار (٣٠٠-٣٠٠ رطل/البوصة المربعة) لتعزيز تفاعل الأكسدة وإحكام درجة التبخير.

في معالجة المخلفات، تستخدم الأكسدة الرطبة في مجال درجة حرارة ١٥٠-٢٠٠°م، (٣٩٢-٣٩٢°فهرنهايت) لأكسدة مياه الصرف المحتوي على الكبريتيد (Sulphide) وتحسين إمكانية سحب المياه من الحماة. درجات حرارة متوسطة من ٢٠٠-٢٨٠°م (٣٩٢-٥٣٦°فهرنهايت) تكون مطلوبة في استخدامات المعالجة حيث يكون المطلوب تدمير مركبات عضوية معينة أو تحويل المركبات المنيعية إلى مواد قابلة للتحلل البيولوجي. درجات الحرارة الأعلى من ٢٨٠-٣٢٥°م (٥٣٦-٦١٧°فهرنهايت) توفر أساساً للأكسدة الكاملة لمحتوي مياه الصرف من المواد العضوية وغير العضوية.

عملية الأكسدة الرطبة يمكن تنفيذها في مفاعل الدفعة الواحدة (Batch Reactor) ولكن، عادة يستخدم نظام التدفق المستمر. عناصر النظم هي تلمبة تغذية السائل عالية الضغط، مصدر أكسجين (ضاغط هواء أو مخزن الأكسجين السائل)، مفاعل، مبادلات حرارية، نظام تحكم في العملية. المخطط الأساسي لعملية الأكسدة الرطبة موضح في الشكل (٢٧/١).



شكل (27/1) مخطط للأكسدة الرطبة

٢. قابلية استخدام الأكسدة الرطبة للمخلفات الخطرة:

Applicability of Wet Oxidation To Hazardous Wastes

تفاعلات عملية الأكسدة الرطبة تحدث تحت ظروف الوصف العام بالرغم من حالة التشتت عادة الأكسدة، سواء كانت مذابة، هلامية (Colloidal)، أو عالق دقيق أو خشن، المعيار الرئيسي هو تركيز المواد القابلة للأكسدة التي تتطلب أكسجين كيميائي (COD) حوالي ١٥٠٠٠ إلى ١٥٠٠٠٠ ملجرام/لتر (٠,١٢٥ إلى ١,٢٥ رطل / جالون).

إذا كانت المخلفات قد وجدت في أي من الأشكال السابقة مع مطالب الأكسجين الكيميائي المطلوب في حدود المجال القابل للتطبيق، فإن الخليط يمكن تغذيته مباشرة إلى نظام الأكسدة الرطبة، المخاليط عالية التركيز يمكن تخفيفها لتكوين تدفق تغذية واحد للأكسجين الكيميائي المطلوب (COD) أو يمكن أن يكون تدفق جانبي إلى المجرى المائي (Aqueous Stream) عند نسبة تطابق متطلبات الأكسجين الكيميائي المطلوب، التفتية الأخيرة تم استخدامها بنجاح للزيوت السامة، سوائل عمليات الغسيل الكيميائية، متفجرات الدفع (Propellants) وكذلك العمليات الصناعية مثل عمليات لب الخشب وبعض العمليات المعدنية، (Extractive Metallurgy).

غالباً كل استخدامات الأكسدة الرطبة في معالجة المخلفات الخطرة تكون مؤثرة، معظم المركبات العضوية تكون متكافئة الأكسدة (Stoichiometrically Oxidized) حيث الكربون يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون، الهيدروجين إلى الماء، الهالوجين إلى الهالينز، الكبريت إلى الكبريتات والفوسفور إلى الفوسفات، والنيتروجين إلى الأمونيا، النترات إلى عنصر النيتروجين. المركبات العضوية ذات المقاومة للأكسدة هي المركبات الأروماتية المهلجنة (Halogenated Organic Compound) مثل للفقد فقد وجد أن مونو، دا كلوروبنزين لهم نسبة تدمير ٧٠% بينما نسبة التدمير للعديد من المركبات الأخرى كانت حوالي ٩٩%.

عند نسبة تدمير (COD) أو أكثر، فإن المادة للعضوية المتبقية تكون مكونة من مركبات ذات وزن جزيئي منخفض، غالباً أحماض الكاربوكسيل (Carboxylic Acids). لذلك، فإن ناتج الأكسدة تتم معالجته بطرق المعالجة البيولوجية اختبارات السمية لناتج الأكسدة الرطبة أظهر أن عدم سمية المركبات العضوية الخطرة هي أساساً تكتمل عند وصول نسبة التدمير إلى ٨٥% أو أكثر.

اعتبارات نظرية للأكسدة الرطبة:

تأثير درجة الحرارة علي معدلات الأكسدة الرطبة هو أنه بالنسبة لمعظم المركبات العضوية، فإن درجة في المجال من ٢٠٠-٢٨٠°م (٣٩٢-٥٣٦°فهرنهايت) وجد أنها تحقق ما يزيد عن ٩٩% كفاءة تدمير للمركب في مدة من ١٥-٦٠ دقيقة.

بالنسبة للمركبات التي تقاوم الأكسدة ، يمكن استخدام درجة حرارة أعلا للحصول علي كفاءة تدمير عالية. كذلك استخدام عدد من العوامل الوسيطة المتجانسة وغير المتجانسة في عملية الأكسدة الرطبة حيث كانت مؤثرة في تنشيطها . ضبط الرقم الهيدروجيني (Ph)، خاصة إلي قيم منخفضة يمكن كذلك أن يعجل معدل تفاعل الأكسدة بالنسبة لمركبات عضوية معينة. معدلات تفاعل الأكسدة الرطبة ليست حساسة للضغط كما هي حساسة لدرجة الحرارة.

الماء هو العامل الوسيط كذلك مواد أخرى مثل كبريتات النحاس الذى يساعد في عملية الأكسدة الرطبة .

في حالات التشغيل لعملية الأكسدة الرطبة، ضبط الماوالغازات الثابتة إلي حالة اتزان البخار-السائل. يمكن ضبط البخار لتأثر توزيع الماء في أى مكان من حوالى نسبة ١٠٠% سائل إلي البخار الكامل تقريباً، أو بخار الماء. عملياً، يتم ضبط التوزيع لاستمرار المجال الرطب الذى يكفي لتوفير الانتقال للمواد الصلبة والمواد المذابة وليمح بالتبخير الكافي لازالة حرارةالتفاعل. الحرارة التي تتطلق عندئذ يمكن أن يسخرها لانتاج البخار أو الماء الساخن بعمليات الاستعادة غير المباشرة للحرارة.

أشكال معدة الأكسدة الرطبة:

يوجد ثلاثة أنواع أساسية من معدات الأكسدة الرطبة لمعالجة المخلفات الخطره. تلك الأشكال تختلف كثيراً في تصميم المفاعل ويمكن تقسيمها كالآتي:

١. نظام العامود الرأسى (فوق الأرض).
٢. نظام المفاعل بحوض التقليب (Stirred Tank).
٣. نظام المفاعل بالأنبوب الرأسى (تحت الأرض).

مفاعل العامود الرأسى فوق الأرض:

هذا المفاعل يتكون من عامود فقاعات بالتدفق الموازي والذى يمكن أن يكون بإعاقه (Baffled) أو بدون ، طبقاً لحالة الخلط المطلوبة، مثال لهذا المفاعل هو ماركة (Zimpro).

مفاعل حوض التقليب:

مفاعل حوض التقليب، يتكون من سلسلة من أحواض المفاعلات بالقلب.

مفاعل الأنبوب العمودي تحت الأرض:

مفاعل الأنبوب العمودي تحت الأرض تستخدم تقنية الحفر لحقول الزيت لتوفير بئر محفور بالقيسون والعزل والذى يعمل كمفاعل الأكسدة الرطبة، المفاعل يمتد إلي ما يقرب من واحد ميل تحت سطح الأرض ويعمل عند درجة حرارة ٢٨٨°م (٥٥٠° فهرنهايت).

التأثير البيئي لنظم الأكسدة الرطبة:

يتم معالجة المخلفات الخطره بالأكسدة الرطبة بغرض إزالة السمية (Detoxification). في طريقة المعالجة هذه، يخرج تيارين من المائع، للغاز والسائل المؤكسد من عملية الأكسدة. السائل الخارج يمكن فصله في بعض الحالات إلى الجزء السائل مع كل المكونات المذابة والمواد الصلبة غير المذابة. الأثر البيئي لمجالات تلك الموائع (أى الغاز، السائل، للصلب) يجب إعلانه عند استخدام الأكسدة الرطبة لمعالجة المخلفات الخطره.

مكونات الغاز الخارجة ونظم المعالجة:

معالجة المخلفات الخطره بالأكسدة الرطبة تتم عادة إلى حد أن المركبات العضوية السامة يكون قد تم تدميرها تماماً، ولكن، منتجات الأكسدة لا تتحول كلية إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، بعض المواد العضوية ذات الوزن الجزيئي المنخفض مثل (Acetaldehyde), (Acetone), (Methanol), تتكون كذلك كناتج للتحلل. تلك المركبات ذات الوزن الجزيئي المنخفض تكون أكثر تطايراً (Volatile) عن المركبات الأصلية وتوزع ما بين الغاز المنتج والسائل المؤكسد المنتج. تركيز تلك المركبات ذات الوزن الجزيئي المنخفض في الغاز الخارج من عملية الأكسدة الرطبة يتراوح من ١٠ إلى ١٠٠٠ جزء في المليون (مقاس كهيدروكربون كلي مقدراً كالميثان).

المركبات العضوية المتطايرة التي لتنبعث من عملية الأكسدة الرطبة في الصاعد المنطلق يمكن التحكم فيها بالعديد من التقنيات بما فيها تقنية الغسيل (Scrubbing) الامتصاص بحبيبات الكربون المنشط، الأكسدة الحرارية، التقنية المستخدمة يتم اختبارها طبقاً لكل حالة علي حدة،

مكونات والتخلص من السائل المنتج:

Composition And Disposal Of Liquid Effluents

السوائل المنتجة من معالجة المخلفات الخطره بالأكسدة الرطبة عادة تحتوى علي كميات مقاسة من المركبات ذات الوزن الجزيئي المنخفض غالباً يكون

(Carboxylic Acids And Other Carbonyl Group Compounds)

تلك المواد العضوية المذابة يتم معالجتها بواسطة للمعالجة البيولوجية لمياه الصرف أو بالمعالجة البيولوجية مع العمليات الطبيعية/الكيميائية. مجموع الأكسدة الرطبة التي يليها للمعالجة البيولوجية والطبيعية / الكيماوية يمكن أن ينتج مياه معالجة ذات نوعية عالية والتي تمكن من الصرف مباشرة أو إعادة الاستخدام.

المخلفات الصلبة :

المياه المنتجة من نظام الأكسدة الرطبة تحتوي علي مواد صلبة عالقة إذا كانت المخلفات السائلة(قبل المعالجة) ذات محتوى معدني عالي، ومكونات من الرماد، أو أملاح

مذابة التي ترسب خلال مرحلة الأكسدة الربطية، للمواد الصلبة عادة تشمل الأكاسيد المعدنية وأملاح غير مذابة أخرى مثل الكبريتات، الفوسفات والسيليكات. الرماد غير المذاب عادة يتم إزالة المياه منه ثم للتخلص النهائي في الأرض ، كما يمكن توجيهه مباشرة مع السائل الخارج من المعالجة إلى نظام المعالجة البيولوجية.

تاريخ حالات:

الاستخدام العادم لمعالجة المخلفات الصلبة:

لقد ثبت أن الأكسدة الربطية مؤثرة في معالجة العديد من المخلفات الربطية. عموماً المخلفات المحتوية على السيانيدات والسلفيدات العضوية وغير العضوية يمكن معالجتها بسهولة بالأكسدة الربطية عند درجات حرارة أقل من ٢٥٠°م (٤٨٢° فهرنهايت) وضغط أقل من ١٣٨٠٠ بار (٢٠٠٠ رطل / البوصة المربعة). المخلفات المحتوية على الهيدروكربونات الأليفاتية المواد العضوية الأليفاتية الكلورة الفينولز، الهيدروكربونات الأروماتية، المركبات الهيدروسيكلية المحتوية على ذرات الأكسجين، النيتروجين أو الكبريت تلك من السهل أكسبتها كذلك تحت ظروف الأكسدة الربطية المشابهة. المخلفات المحتوي مركبات أروماتية مهجنة (مثل Dichlorobenzene , Hexchloro Benxene) تحتاج درجات حرارة أعلا من ٣٢٠°م (٦٠٨° فهرنهايت) وضغط يزيد عن ٢٠٧٠٠ بار (٣٠٠٠ رطل/البوصة المربعة). وذلك لإمكان الأكسدة الربطية المؤثرة.

عند استخدام الأكسدة الربطية لمخلفات معينة، فإن المعالجة المؤثرة تعرف بالقسرة على تحقيق الهدف من المعالجة، في معظم الحالات، حيث تستخدم الأكسدة الربطية للمخلفات الخطره، فإن الهدف من المعالجة هو إزالة السمية من مياه الصرف للمعالجة البيولوجية التالية. لتحقيق متطلبات إزالة السمية هذه فإن تدمير مواد عضوية سامة معينة إلى مستويات تركيز منخفضة يكون عادة هو المطلوب. كفاءة التدمير الكلية لمركبات عضوية معينة التي يمكن تنفيذها بالأكسدة الربطية تتوقف عادة على بناء المركب، الخليط، درجة حرارة المعالجة المستخدمة .

الحالة رقم (١):

استخدمت (Sterling Organic. U.K.) الأكسدة الربطية لمعالجة مياه الصرف المنتجة من إنتاج (Acetaminophen) . مياه الصرف عالية التركيز وعالية التلويث وتحتوي (P- Aminophenol, Phenols) مركبات الكبريت المختزلة، ومركبات عضوية أخرى . مياه الصرف تحتوي كذلك تركيز عالي من الأملاح المذابة، تحليل مياه الصرف ومياه الصرف المؤكسدة موضح في الجدول التالي وحدة الأكسدة الربطية المستخدمة حققت كفاءات تدمير عالية للأكسجين الكيماوي المطلوب، مكونات عضوية معينة مركبات الكبريت المختزلة.

جدول (٢٧/١) الأكسدة الرطبة لمياه الصرف (Acetaminophen)

المعيار	مياه الصرف	مياه الصرف المؤكسدة
الأكسجين الكيماوي المطلوب (COD) ملجرام/لتر	٦٩,١٠٠	٢٥٩٠
نسبة التدمير لـ COD	—	٩٦,٢
الفينول الكلي ملجرام/لتر	٧٧٤	١٨
P-Aminophenol ملجرام /لتر	٦٩٥٠	١,٠٦٧
نسبة P-Aminophenol الذي تم تدميره %	—	٩٩,٩٩
وحدات اللون (APHA)	—	٥٩٠
الكبريت المختزل ملجرام/لتر	٣٢,٨١٠	أقل من ٢,٨
نسبة الكبريت المختزل المدمر	—	٩٩,٩٩
كبريت / كبريتات ملجرام/لتر	١٠٢٠٠	٤٩١٠٠
pH	١٠,٢	١,٨

وحدة الأكسدة الرطبة المستخدمة صممت لعملية المعالجة بمعدل تدفق ١١٢ لتر في الدقيقة (٢٩,٦ جرام في الدقيقة) من مياه الصرف مع سحب أكسجين ٨٠ جرام/لتر. المفاعل يعمل عند حوالي ٢٦٠ °م (٥٠٠ °فهرنهايت) / 10.3 MPA (١٥٠٠ رطل/بوصة المربعة) مع زمن مكوث هيدروليكي ساعة واحدة. وحدة الأكسدة الرطبة لها نسبة تدفق تقلب مياه الصرف ٢ : ١ ويتم ضبطها لجميع حالات التدفق ما بين المعدلات القصوي والدنيا. وحدة الأكسدة الرطبة تصنع من درجات مختلفة من التيتانيوم.

الحالة رقم (٧):

في هذه الحالة استخدمت الأكسدة الرطبة لإزالة السمية من سائل غسيل غاز فحم الكوك واستعادة المنتجات المعقدة من التدفق لمعالج سائل غسيل غاز فرن الكوك يحتوي على السيانيدات، الفينولات، ثيوسيانيت (Thiocyanates)، ومكونات عضوية أخرى. في الأكسدة الرطبة، تتحول السيانيد إلى ثاني أكسيد الكربون والأمونيا، الثيوسيانيت تتحول إلى الكبريتات. في هذه العملية يتم فصل الأبخرة من تدفقات السائل في المفاعل وتستخدم للتسخين المسبق للمخلفات القادمة. السائل عالي الملوحة الذي تاكسد يتم تركيزه بهذا الساخن الذي تم عزله ويحتوي على ما يقرب من ١٥% كبريتات الأمونيوم وزائد من حامض الكبريتيك. يمكن استعادة البللورات من كبريتات الأمونيوم من المحلول المالح الذي تحت له الأكسدة الرطبة ويتم بيعها كسماد. الجدول (٢٧/٢) يبين التحاليل المثالية لسائل غسيل غاز فرن الكوك والمحلل الملحي المركز.

المعيار	سائل الغسيل	السائل المؤكسد
• معدل التدفق لتر/الدقيقة	٤٢-٣٢	-
• درجة حرارة الأكسدة °م	-	٢٧١
• الأكسجين الكيماوي المطلوب ملجرام/لتر	١٤٣٠٠٠	٤١٠٠
• النسب المثوية لتدمير الأكسجين الكيماوي المطلوب COD		٩٧,١
• NH_4SCN ملجرام/لتر	١٢٤٠٠٠	٢٠٠
• $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ملجرام/لتر	٣٤٢٠٠	-
• نسبة تدمير % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-	٩٩,٨
• المواد الصلبة العالقة ملجرام/لتر	٣٣٠٠	١٠٠
• pH	٨,١	١,٧

في نظام الأكسدة الرطبة هنا، تم معالجة تدفق متوسط مقداره ٣٢-٤٢ لتر/الدقيقة (٨,٥-١١,١ جالون/الدقيقة) والعمل عند أقصى درجة حرارة ٢٨٠ °م (٥٣٦ °فهرنهايت) وضغط (9.0 Mpa) (١٣١٠ رطل/البوصة المربعة).

سائل غسيل غاز فرن للكوك والسائل المعالج لهما عدوانية شديدة، واستخدمت درجات مختلفة من الليثانيوم في تصنيع نظام الأكسدة للرطبة.

الحالة رقم (٣):

هذه الحالة كانت في شركة بترول صينية والتي استخدمت الأكسدة للرطبة لمعالجة المخلفات القلوية الناتجة عند غسيل غاز الإيثيلين من وحدة التكسير لإزالة المنتجات الجانبية للحامضية، هذه المخلفات الكاوية تحتوي على كربونات الصوديوم، سلفيد الصوديوم، مركبات الكحول الكبريتي (Mercaptans) والفينولات، ومستحلب الهيدروكربون. في معالجة المخلفات الكاوية (Spent Caustic) بالأكسدة الرطبة، فإن الكبريتيد يتحول إلى الكبريتات كذلك فإن مركبات الكحول الكبريتي تتأكسد مع مكونات عضوية أخرى. منتجات الأكسدة هي الكبريتات، للكربونات، الماء، أن أيونات حامض الكربوكسيليك ذو الوزن الجزيئي المنخفض (مثل الأمينية). تحليل المخلفات الكاوية والسوائل المؤكسدة من شركة البترول للصينية موضح في الجدول (٢٧/٣). السائل المعالج بالأكسدة للرطبة بعد تعادله وتخفيفه يتم إرساله إلى وحدة المعالجة البيولوجية.

جدول (٢٧/٣) الأكسدة الرطبة للعادم القلوي في مصنع البترول الصيني

المعيار	السائل القلوي	السائل المؤكسد
الأكسجين الكيماوي المطلوب COD ملجرام/لتر	٣٣,٠٤٨	٨٤٦
نسبة خفض COD %	-	٩٧,٤
Na ₂ S ملجرام/لتر	١٦٥٠	-
إجمالي الكبريتات ككبريت ملجرام/لتر	١٥٧١٨	-
NaHS ملجرام/لتر	٢٦٢٩٠	-
نسبة إزالة السلفيد %	-	١٠٠
إجمالي مركبات الكحول الكبريتي ملجرام/لتر	٧٠٤٠	أقل من ٠,٥
نسبة إزالة الكحول الكبريتي	-	99.99<
الزيوت والبلغمات ملجرام/لتر	١٦٨	٧
الفينول الكلي ملجرام/لتر	٢٨٧	٥,٣

في هذه الحالة، تم تصميم ثلاث وحدات للأكسدة الرطبة لمعالجة سوائل القلوي العادمة، كل وحدة لها طاقة ٩٤,٦ لتر في الدقيقة (٢٥ جالون) . مفاعل الأكسدة الرطبة تم تصميمه ليعمل عند أقصى درجة حرارة ٢٠٠°م وأقصى ضغط ٤٠٠ رطل/البوصة المربعة. وقد حققت تلك الوحدة كفاءة تتميز عالية للأكسجين الكيماوي المطلوب (COD)، الكبريتيدات، مركبات الكحول الكبريتية، ومكونات أخرى . تتميز السلفيدات ومركبات الكحول الكبريتية قد ساعد على خفض الانبعاثات للرائحة إلى حد كبير من مجمع صناعة البترول.

اقتصاديات الأكسدة الرطبة:

أ. التكاليف الرأسمالية:

بمقارنة التكاليف الرأسمالية للأكسدة الرطبة مع الحرق للسائل أظهر أن الأكسدة تمثل ٥٠% تقريبا زيادة في التكلفة.

ب. تكاليف التشغيل:

مقارنة تكاليف التشغيل للأكسدة الرطبة وحرق السائل أظهر أن تكاليف التشغيل بالأكسدة الرطبة تمثل حوالي ٣٠% من تكاليف التشغيل لحرق السائل.

خطط الأسفلت

Asphalt Blending

28

عمليات التثبيت / التجميد هي من بين عدد محدود من تقنيات إدارة الموارد الصلبة والخطره التي تستخدم علي نطاق واسع. يمكن تعريف التثبيت/التجميد (Stabilization/Solidification) بأنه تغليف للمخلفات في مادة صلبة ذات قوة صلابة عالية، حيث خطورة المخلفات نقل بتحويلها إلي الشكل الأكل إذابة، الأكل حركة ، أو الأكل سمية (التثبيت). التغليف الناتج عن عملية التجميد قد يكون ذلك للجزيئات الدقيقة، جسيمات المخلفات والذي يسمى التغليف الصغير أو المجهرى أو كتلة ضخمة أو حاوية للمخلفات (التغليف للكبير). في أى من الحالات الهدف هو خفض حركة الملوث من المخلفات بخفض المساحة السطحية المعرضة للتشريح بالسوائل (Leaching Fluids). معظم عمليات التثبيت/التجميد المستخدمة حالياً مبنية علي خرج المخلفات بمادة رباط. مادة للرباط المستخدمة عادة هي تلك التي يحدث لها تفاعلات أسمنتية، حيث تتفاعل مع الماء لتكوين مادة صلبة. من بين مواد للرباط التقليدية المستخدمة الأسمنت البورتلاندي، خليط من الجير المطفي والرماد المتطاير، خبث الفرن العالي المطحون، غبار فرن الأسمنت، أو مخاليط مختلفة من تلك المادة الأسمنتية المنتجة تكون عموماً بلورية ذات مسامية منخفضة نسبياً ونفاذية ضعيفة، الملوثات يتم احتجازها خلال البلورات بالرباط الكيماوي مع البناء البللوري أو بالإيلاج خلال الثقوب الصغيرة. رغم أن العمليات الأسمنتية من نوع التثبيت/التجميد هي المستخدمة عادة اليوم، فإنه توجد أنواع أخرى التي يمكن استخدامها. من بين تلك هي احتواء المادة في المادة الأسفلتية. يمكن عمل ذلك باستخدام إما الأسفلت الساخن أو البارد. خطط الأسفلت له مميزات كثيرة لأنواع معينة من المخلفات. تحديداً، فهو عامل تجميد مفضل للمخلفات العضوية مقارنة بمادة الرباط الأسمنتية. مواد الرباط الأسفلتية لها ميزة في أن المنتج النهائي يمكن استخدامه في الإنشاء.

عمليات الأسفلت تم بحثها منذ ١٩٥٠ لاحتواء وتغليف المخلفات العضوية. تم عمل أبحاث قليلة علي استخدام الأسفلت في معالجة المخلفات الخطره أو للتربة الملوثة. لقد وجد أن الإحتواء في الأسفلت الساخن كما يستخدم في مشروعات الرصف، والأسفلت البارد ومكوناً، المستقلب الذي يمكن استخدامه.

٢. خواص الأسفلت:

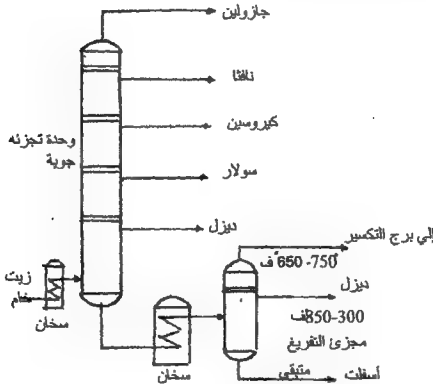
الأسمنت الأسفلتي هو مادة بيتومينية طبيعية التي تنتج بتقطير البترول، لونها مابين البني الغامق إلى الأسود. الاستخدام الأول للأسمنت الأسفلتي هو في الرصف. لقد استخدم منذ أمد بعيد للحام جسم السفينة، وفي الانشاءات المانع للمياه، وفي تحنيط الموميا. معظم أسفلت الرصف المستخدم حالياً يتم الحصول عليه بتصنيع البترول الخام.

مادة الأسفلت المتبقية بعد استعادة المقطرات المفيدة مثل الجازولين، الكيروسين، والزيوت تصنف كبيتومين. الشكل (٢٨/١) يوضح عملية التقطير المستخدمة لفصل مختلف الأقسام طبقاً لدرجة غليانها. الأسفلت هو مادة متبقية عند درجة حرارة ٨٠٠-١٠٥٠ قهرنهايت الأسفلت المستخدم عادة في انشاءات الرصف المرنة يمكن تقسيمه إلى ثلاث أنواع.

١. الأسفلت الأسمنتي.

٢. الأسفلت للمستحلب.

٣. الأسفلت المخفف (Cutback).



شكل (28/1) فصل الزيت الخام إلى المقطرات والأسفلت

الأسفلت الأسمنتي: (Asphalt Cements)

كما تم وصفه يتم الحصول عليه بتقطير البترول الخام. وهو مادة شبه صلبة، سوداء، لزقة، وعالية للزوجة، وهي عالية المقاومة لمعظم اللقويات، الأحماض، والأملاح، بما يجعله مادة رباط ممتازة لتثبيت الكثير من المخلفات الخطره. لكونه لزقا بدرجة عالية في الحالة الساخنة، فإنه يلتصق مع جسيمات المخلفات وربطها مع التبريد.

الأسفلت المستحلب:

وهو خليط من الأسفلت الأسمنتي، الماء، عامل الاستحلاب. الأسفلت الأسمنتي لا يذوب في الماء، لذلك فإن الاثنين يوجدان في مجالات منفصلة. عامل الاستحلاب يغطي شحنة كهربية علي أسطح نقاط الأسمنت الأسفلتي، والذي يسبب لها التناثر بين الواحدة والأخرى ولا يندمجا لحين إضافة أيونات مضادة.

الاسفلت المخفف:

وهو سائل أسفلتي مصنع بإضافة (التخفيف) مذيبات بترولية إلي الأسفلت الأسمنتي وهذا له استخدام قليل.

أهمية الأسفلت الأسمنتي كعامل رباط للمخلفات الخطره مبني علي كل من خواصه الطبيعية والكيمائية. عند التجميد فإن الأسفلت الأسمنتي يصبح صلب مع قليل من النفاذية، وقادر علي خفض الالتصاق بين الماء والملوثات. لذلك، فإن القابلية للترشيح (Leachability) يتم خفضها كثيرا، البنية الكيمائية للأسفلت تساعد في تعيين قدرات الرباط للمخلفات الخطره. للمكونات الرئيسية للأسفلت الأسمنتي، كما هو متوقع، هي الكربون والهيدروجين. الكبريت يكون موجودا كذلك عند حوالي ٠.٠٥ إلي ٥% بالوزن، مع كميات أقل من الأكسجين والنيتروجين، والمعادن مثل النيكل والفناديوم، الأسفلت الأسمنتي يحتوي جزيئات ذات التسلسل المستقيم أو المتشعب (الأليفاتية)، جزيئات حلقيه بسيطة أو معقدة مشبعة (الحلقة الأليفاتية (Cycloaliphatics)). ولكن المجموعات الفعالة (Functional) للمحتوية علي الكبريت، النيتروجين، والأكسجين، تكون أحيانا ملتصقة مع تلك الجزيئات، بما يجعلها زائدة القطبية (More Polar). الطبيعة غير المتجانسة للأسفلت الأسمنتي تقوم بدور هام في قدرته علي حجز الملوثات. نظرا لأن لديه كلا من للمواقع القطبية وغير القطبية، فإنه قادر علي الرباط مع العديد من مركبات المخلفات الخطره.

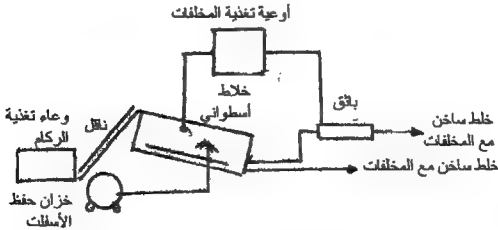
٣. عمليات الأسفلت الأسمنتي الساخن:

Hot asphalt Cement Processes

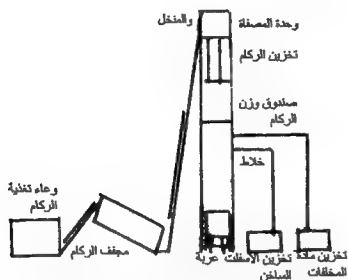
أ. وصف العملية:

في عملية الأسفلت على الساخن، فإنه يتم إضافة المخلفات في شكل الردغة (Slurry) مع الأسفلت المنصهر (الببتومين) في الخلاط على الساخن/الباتش. خلال التسخين، يتم تبخير الرطوبة في المخلفات، مع التبريد، تصبح المخلفات مغلفة فني الأسفلت كخليط متجانس، يوجد نوعين من نظم خلط الأسفلت على الساخن (Hot-mix Asphalt) وهما نظام الدفعة الواحدة (Batch)، ونظام الخلط البرميلي (Drum Mix) وكلاهما ينتج منتجات متشابهة.

مخطط لوحدة الخلط البرميلية موضح في الشكل (٢٨/٢). الركام المستخدم في مادة الرصف يتم إضافة الخلاط البرميلي السائل، حيث يتم تجفيفه وتسخينه مع تحركه خلال الخلاط. الأسفلت الأسمنتي يتم ضخه في وسط الخلاط، حيث يختلط مع الركام ويغلفه. الخليط الأسفلتي الساخن يخرج من الخلاط إلى حوض التخزين ثم إلى العربة للقلاب لنقله إلى موقع الإنشاء. في نظام الخلط المرحلي (علي دفعات) الموضح في الشكل (٢٨/٣)، يتم تجفيف الركام منفصلاً في المجفف البرميلي قبل إرساله إلى البرج، حيث يتم فرزهِ وتخزينه بالمخل، للركام الذي تم نخله أو غربلته يتم تخزينه ساخناً وخلطه معاً ثانياً بالنسبة المطلوبة. عندئذ يتم صرف الركام الجاف إلى خلاط العجن (Pugmill)، ويتم رش الأسفلت الأسمنتي الساخن في خلاط العجن على الركام. بعد الخلط يتم تصريف الأسفلت الأسمنتي مباشرة إلى عربات القلاب أو حفظه في أحواض ساخنة.



شكل (28/2) مخطط لعملية أسطوانة الخلاط الساخن للأسفلت



شكل (٢٨/٣): مخطط لعملية الخلط الساخن للأسفلت بالدفعه الواحدة

المواد الملونة ، من الممكن إضافتها بعد الطحن للحصول على الحجم المناسب حيث يتم الخلط في الخلاط البرميل أو خلاط العجن، ولكن من المفضل أن يتم إضافتها في شكل ردة، في باثق منفصل. يتم تسخين الباقى (Extruder) لجعل الأسفلت الأسمنتي منصهراً ولتبخير المياه من المواد الملونة. عند درجات الحرارة تلك، فإن معظم الملونات المتطايرة تتبخر، والباقي يتم تغليفه، المواد العضوية المتطايرة قد تحتاج إلي أن يتم اقتصاصها ومعالجتها بالإمصاص بالكربون المنشط لمنع حدوث مشاكل تلوث الهواء. الحظون داخل الباقى يخط المادة حتي يتم إرسالها إلي أبواب الصرف. معدل الإنتاج مرتفع حتى ٣٠٠ كيلو جرام/الساعة.

المنتج النهائي، الخليط المتجانس المنبثق للمخلفات الصلبة والأسفلت الأسمنتية، يتم عندئذ صرفه من البائق إلى برميل بسعة ٥٥ جالون. أحد المميزات لهذه العملية هو أنها تحقق خفض في الحجم لمواد اللدغة بنسبة حوالي ٦٠%. هذه القيمة تعتمد إلى حد كبير على نوع المخلفات. تغيرات الحجم تتراوح ما بين ٠,٥ : ١ إلى ما يصل حتى ٢,٤ (١: طبقاً لخواص، تدفقات للمخلفات).

٤. الاستخدامات الممكنة:

عملية خلط المخلفات بطريقة خلط الأسفلت الساخن (Hot-Mix Asphalt) تم تطويرها لمحاليل المخلفات المشعة ذات المستوى المنخفض والمتوسط. تلك المحاليل تشمل، مراكز المعبر، حماة المرشح، ردة راتنج التبادل الأيوني. نتائج الدراسة علي تثبيت المخلفات المشعة باستخدام الأسفلت الأسمنتي الساخن مقارنة بالمخلفات ذات الأساس الأسمنتي، قد أظهرت أن إمكانية الترشيح ونزع المواد (Leach ability) من

الأسفلت الأسمنتي منخفضة جداً، للمواد المتطايرة وشبه المتطايرة من المحتمل أن لا يتم احتجازها في الكتلة المتجمدة ولكن تتم إزالتها مع بخار الماء بسبب ارتفاع درجة حرارة العملية. بخار الماء المساعد من اللبائث عند التشغيل يجب أن يتم جمعه ومعالجته.

عملية أسفلت الخلط الساخن تم تقييمها لخليط المخلفات المشبعة والكيميائية الخطره مثل الحماة من عمليات الطلاء المعدني، للصرف المعمل، عمليات تنظيف المعادن، وعمليات إزالة الملوثات، مياه النظافة. عادة يتم تصميم الأسفلت الأسمنتي لاحتواء الملوثات مثل النترات، السيانيد، النيكل، والكاميوم وكذلك الملوثات المشبعة. في كثير من الدراسات ثبت أن فصل الملوثات بالترشيح انخفض إلى أقل من المعايير المقررة. ولكن هناك تحفظاً نحو متانة المنشأ نظراً لتغير الشكل بفعل الأحمال وذلك بالنسبة لحالة المواد المشبعة.

تم دراسة العديد من مواد المخلفات نحو إمكانية تغليفها في أسفلت الخلط الساخن. من هذه، مخلفات المطاط، الرماد، تربة التلوث البترولي، رمال للترميل لسطح المعدن، مخلفات المعادن الثقيلة.

المصدر الرئيسي للمخلفات المناسب استخدامها في خليط الأسفلت الساخن هو مخلفات الإطارات. مواد الرصف من الأسفلت/الإطارات تستخدم في كثير من الولايات الأمريكية. المطاط المطحون المنتج من عمليات طحن الإطارات يتفاعل سريعاً مع الأسفلت الأسمنتي مكوناً مادة تسمى الأسفلت المطاط (Asphalt Rubber). تركيز المطاط يتراوح ما بين ٥ إلى ٢٠% بالوزن في الخليط. حوالي ٢% من كل الإطارات الكهنة يتم تدويرها سنوياً إلى الأسفلت، مع احتمال زيادة هذا الرقم.

الرماد المتطاير نتيجة حرق الفحم ومخلفات المحارق للمخلفات المنزلية الصلبة وحماة معالجة مياه الصرف تم كذلك استخدامها في خليط الأسفلت الساخن. الرماد المتطاير، حماة الرماد (Sludge-Ash)، رماد المخلفات للصلبة المنزلية، حيث خصائص تلك المخلفات تختلف كثيراً طبقاً لنوعية الفحم المحروق أو مكونات المخلفات المحروقة. إستبدال حتى ١٥% من الركام الدقيق بحماة الرماد في خلطات الأسفلت الأسمنتي أظهر نتائج مرضية في أحد الدراسات. معظم مواد تلك المخلفات يكون دقيق الحجم. في كثير من الحالات يكون من الضروري صهر الجسيمات إلى أحجام أكبر قبل الإستخدام في خليط الأسفلت الساخن. يوجد لإحتمال غسيل معادن ثقيلة وتحديدًا الرصاص والكاميوم من تلك المواد.

التربة البترولية الملوثة من تسربات الخزانات الأرضية تعتبر مناسبة لاحتوائها في خليط الأسفلت الساخن. يقدر أنه في المتوسط لازالة تسرب خزان ينتج من ٥٠-٨٠ ياردة مكعبة من التربة الملوثة. في كثير من الحالات يزيد عن ذلك كثيراً، تلك التربة هي خليط جسيمات مغطاة بمنتجات بترولية. التربة يمكن أن تعمل كركام (Aggregate) في الأسفلت الأسمنتي، وهيدروكربونات البترول سوف تمتزج مع الهيدروكربونات في الرباط الأسفلتي. المثالي هو إضافة ٥-١٠% من التربة الملوثة إلى خليط الأسفلت الساخن. لقد وجد أن خليط الأسفلت الساخن الأسمنتي المصنوع بالتربة البترولية الملوثة أن له قدرة تحمل ومناسب كمادة رصف.

أنواع أخرى من التربة الملوثة تم كذلك في خليط الأسفلت الأسمنتي الساخن، حيث التربة الملوثة بالمخلفات العضوية وغير العضوية. كذلك استخدمت المخلفات الكيماوية تلك التقنية لمعالجة ما يزيد عن ٥٠% من أنواع المخلفات، والتي تشمل الحماة الملوثة بالمعادن، الفينولات، الفينولات المكلورة، المركبات الأروماتية عديدة للنواة، مخلفات غسل للمحرقه والرماد، وحماة البويات والطلاء الكهربى، والمخلفات من إسبال وتغويز الفحم والتكويك، وكذلك رمال الترميل (Sand Blasting) والتي تضاف بنسبة ٧-١٠% بالوزن ونظراً لاحتوائها على البويات وتركيزات منخفضة من المعادن (النحاس، الرصاص، الزنك، النيكل، الكروم) لذلك فقد يتم أحياناً معالجتها بمحلول السلفيد (Sulfide) لخفض الإذابة لتلك المعادن.

ولقد أظهرت الاختبارات لعينات الأسفلت الحقلية أن التخلص من تلك المعادن وترشيحها يكون دون حدود المعايير المقررة.

عمليات الأسفلت المستحلب: (Emulsified Asphalt Processes)

وصف العملية:

أحد التقنيات الواعدة لتثبيت المخلفات الخطرة والتربة الملوثة هي المبنية على الأسفلت المستحلب. عملية الأسفلت المستحلب هذه تعمل عند درجة الحرارة العادية، بدون الحاجة إلى التعامل مع المشاكل المصاحبة لعملية خليط الأسفلت الساخن وتحديدًا تبخر الملوّثات. في هذه العملية تتم عملية الالتئام إلى كتلة غير محبة للماء (Hudrophobic) بالتفاعل مع الأيونات المضادة (Counterions) في المخلفات أو بالإضافة إلى الخليط من الأسفلت والمخلفات. عند تكسر مستحلب الأسفلت فإنه يتم تحرير الماء في المخلفات والمستحلب مكوناً مجال منفصل والمجال العضوي يكون مادة تروابط (Matrix) غير محبة للماء حول الأجسام الصلبة للمخلفات. الطريقة موضحة في

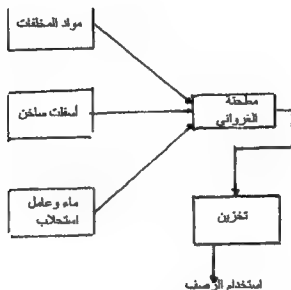
المخطط شكل (٢٨/٤) والتي يمكن استخدامها مع المخلفات عالية المحتوى من المواد الصلبة مثل الحمأة مع السوائل الملوثة أو المواد الصلبة الملوثة.

العملية يجب أن تكون ملائمة للمخلفات محل التعامل، الشحنة الأيونية للأيونات المضادة للمخلفات تتحدد بإضافة مستحلبات الأسفلت الكاتايونية والآن أيونية إلى عينات صغيرة من المخلفات وملاحظة الذي يندمج. ولذلك، فإن كلا من الأسفلت المستحلب الآن أيوني والكاتايوني يكون متاحاً. يتم خلط عالق مناسب من جسيمات مستحلب الأسفلت ذو شحنة جسيمات مخالفة إلى الشحنة الأيونية لملوثات المخلفات عند درجة الحرارة العادية بكميات تتراوح ما بين ٠,١ إلى ٤٠ % بالوزن. بعد الخلط فإن الخليط سوف يفقد استقراره الكيميائي بسبب الشحنة السطحية على جسيمات الأسفلت المستحلب، مسبباً حدوث تكسير الإلتصاق لمستحلب الأسفلت إلى كتلة غير محبة للماء ويتجمد.

في بعض الحالات قد يكون من الضروري إضافة عوامل تعادل إضافية مثل لبن الجير (Ca^{2+}) لمعادلة مستحلبات الأسفلت الآن أيوني أو الجبس (SO_4^{2-}) لمعادلة تلك الكاتايونية. يلي ذلك إعطاء الخليط الوقت الكافي للاستقرار والشك (To Set And Cure) حيث المنتج النهائي يكون مادة صلبة تختلف في القوام ما بين الشبيه بالصخر إلى الهش.

مادة الأسفلت لها عدم حب للماء عالي ونفاذية للماء قليلة ولا يمكن ترشيحها، المنتج النهائي عالي الاستقرار وغير نفاذ بالنسبة لفقد مكونات المخلفات.

مستحلبات الأسفلت عبارة عن خليط من الأسفلت والماء. نقاط الأسفلت الصغيرة جداً تكون منتشرة في الماء لعمل المستحلبات. عوامل الاستحلاب الكيماوية مثل المنظفات الصناعية يتم إضافتها ليكون المنتج مستقراً. وذلك تكون طبقة حماية حول نقاط الأسفلت المستحلبة، وتحمل شحنة كهربائية التي تسبب التناثر بين النقاط بعضها البعض.



شكل (28/4) مخطط لعملية الأسفلت المستحلب

الاستخدامات المحتملة:

لقد أظهرت عملية الأسفلت المستحلب أنها مؤثرة في تجميد المخلفات الصلبة، خفض نفاذية المخلفات المتجدة ، وتحسين استقرار / تجميد المخلفات خلال عمليات استخدام الأسمنت البورتلاندي والسيليكات المذابة.

أحد العمليات التي تم تسجيلها كانت مصممة للاستخدام مع منتجات المخلفات الصلبة مثل رمال المسابك، التي تحتوي منتجات المخلفات غير المرغوبة مثل عوامل الرباط للصلبة، المعادن، والملوثات الأخرى من عمليات سباكة المعادن. وقد وجدت كذلك أنها مناسبة لتجميد المخلفات التي تعيق التفاعلات الكيميائية لعمليات التجميد التقليدية. إضافة الأسفلت المستحلب إلى نظم تجمد الأسمنت البورتلاندي التقليدية وجد أنه يحسن المنتج النهائي إلى حد كبير في أنه يصبح عالي الطرد للماء وغير نفاذ له مع عدم إنتاج سائل طافي (Supernatant) أثناء عملية التجمد.

لقد اقترح تثبيت الأسفلت للمخلفات المنتجة من صناعات إزالة الطلاء، تشطيب المعادن، الطلاء الكهربى، وما يرتبط بها من أنشطة. لقد وجد أن التغليف الدقيق مع الأسفلت أنه يقلل من صرف المعادن من السيانيد بطريقة جيدة. لقد استخدم الأسفلت المستحلب لمعالجة مخلفات الطلاء الكهربى المحتوية على الكاديوم، الكروم، الحديد، الرصاص، الزنك، النيكل، الزئبق، السيانيد. يوجد حالياً العديد من تسويق عمليات الأسفلت البارد لتغليف التربة الملوثة بالمواد البترولية الناتج من التسرب أو الانزلاق (Spills).

عملية الخلط علي البارد تستخدم عامل استحلاب (Emulsifier) ليسمح للماء بالاتحاد مع الأسفلت لانتاج خليط له لزوجة منخفضة بما يكفي للخلط مع الركام (التربة الملوثة). هذا المستحلب يحافظ علي جسيمات الأسفلت أن تظل منفصلة عن بعضها البعض بواسطة طبقة رقيقة من الماء. عند خلط الأسفلت المستحلب والركام ووصفهم فإن الضغط الناتج عن الدمك يعمل علي تكسير طبقة الماء بما يسمح لجسيمات الأسفلت أن تلتصق مع بعضها ومع الركام. المادة الناتجة يمكن استخدامها لرصف الطرق. ولكن وجود المواد الدقيقة يمكن أن يقلل من قوة التحمل. عموماً يمكن أن تكون المواد الدقيقة في حدود ١٠% من الحجم الكلي للركام في حالة استخدام الأسفلت في الرصف.

عمليات الزجاج المنصهر

Molten Glass Processes

29

الوصف العام للعملية:

عمليات الزجاج المنصهر المختلفة لتكمير وإعاقة حركة المخلفات الخطرة متاحة تجارياً في الوقت الراهن. العمليات يمكنها تكمير المخلفات الخطرة القابلة للاحتراق وبعض الأجزاء السامة وفي نفس الوقت تدخل المتبقي، مثل الرماد والمعادن الثقيلة غير المتطايرة إلى الشكل الثابت للزجاج. المنتج النهائي يتم خفض حجمه وكتلته بطرد الرطوبة من المخلفات باستمرار وتكمير أجزاء المخلفات حرارياً ودمج المخلفات إلى زجاج كثيف وإلى منتج بللوري.

عمليات الزجاج المنصهر يمكن أن تعمل طبقاً لمبدأ تسخين جول، طاقة الميكروويف، احتراق الوقود الحفري أو البلازما الحرارية. في أجهزة التسخين للصهر-جول (Joule - Heated Melters)، الأقطاب الموضوعة في الزجاج المنصهر توفر فولت كهربى للزجاج المنصهر، تمرير تيار كهربى خلال المكونات الأيونية القلوية في الزجاج. المقاومة الكهربائية للزجاج المنصهر تنتج حرارة خلال تخوم الأقطاب عند استخدام الفولت. لحرارة يتم توزيعها بانتظام خلال الزجاج المنصهر بتيارات الحمل والطبيعية في المنصهر.

في ترجيح الميكروويف، مواد المخلفات ومكونات الزجاج يتم تسخينهم خلال خلق حرارة احتكاك بسبب ذنبية الجزيئات القطبية (Polar Molecules) والمواد المغناطيسية في التردد العالي (3000 to 30000 MHZ)، المجال الكهرومغناطيسي. في هذه العملية يقوم مولد الميكروويف بتوجيه طاقة الميكروويف خلال موجه الموجة المعدنية مباشرة نحو المخلفات الجاري معالجتها. للتأثيرات الحرارية تصهر مواد المخلفات لتكوين الزجاج والمنتج البللوري المقاوم للتشريح وفقد الأملاح والمستقر.

بعض نظم صهر الزجاج مثل الفرن الدوار ومصهرات السيليكون التي هي نتيجة للتطوير لنظم للحرق التقليدية. في تلك النظم. يتم حرق مواد المخلفات بواسطة الوقود التقليدي مثل الفحم المطحون، والجزء غير القابل للاحتراق يتم انصهاره لتكوين الخبث المنصهر.

المجال سريع النمو لمعالجة المخلفات بعمليات الزجاج المنصهر هو باستخدام البلازما الحرارية. في تلك النظم، يتم إنتاج بلازما حرارية ذات درجة حرارة عالية جداً لإيجاد تركيز عالي من الطاقة عند المخلفات الجاري معالجتها. هذا يمكن عمله خلال بطارية بلازما (Plasma Torch) أو مصهر للقوس (Arc Smelter). بسبب التنوع الكبير وللجوء إلي استخدام تلك النظم خلال مجال المخلفات الخطره، فإنه يمكن وجود معلومات أكثر عن نظم البلازما في نظم البلازما في فصل آخر من باب المعالجة الحرارية.

عمليات جول للتسخين لصهر الزجاج تكون في أحد للنظم الآتية:

١. التزجيج في الموقع. (In Site Nitrification)

٢. المصهرات المبطنة - الحرارية فوق الأرض.

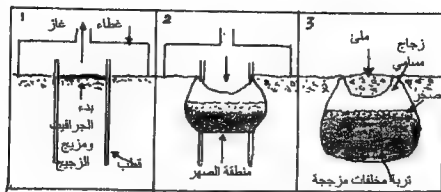
المهام الأولية:

المهام الأولية لكل الأنواع الأربع لعمليات الزجاج المنصهر هو لتدمير المكونات العضوية والنترات الكيماوية في المخلفات، وتثبيت الأجزاء المتبقية من المخلفات في مادة زجاجية مستقرة جيولوجياً، وخفض الحجم الكلي للمخلفات. حتي في حالة أنه من الضروري إضافة مكونات للزجاج فإن اندماج المخلفات وخفض الكتلة من الجفاف، الحرق، والتحلل يكون بسبب انخفاض الحجم. عمليات الزجاج المنصهر ينظر إليها كإجراءات معالجة مستمرة منتجة المخلفات في الشكل الآمن للنقل. هذه العملية تقلل حجم المخلفات بعوامل ما بين ٢، ١٠٠ طبقاً للمكونات، كثافة القابلية للتوزيع للمخلفات. حجم الحجم يقلل عموماً من تكلفة للتخلص إلي درجة كبيرة.

تصميم وتشغيل العملية: Process Design And Operation

١. التزجيج في الموقع:

التزجيج في الموقع هو عملية معالجة حرارية التي تحول التربة الملوثة إلي زجاج مستقر شامل كيميائياً في شكل منتج بللوري. الشكل (٢٩/١) يبين المكونات الرئيسية وتسلسل العمل للتزجيج..



شكل (29/1) منخط لعملية التزجج في الموقع

مصفوفة المربع من أربع أقطاب جرافيت يتم وضعها عمودياً على سطح التربة الملوثة المطلوب معالجتها. لأن للتربة ليست موصل كهربائي عند طرد الرطوبة منها، فإنه يتم وضع قشور من الجرافيت الموصل ومزيج مكلّس من الرمل والمواد المنصهرة لصنع الزجاج (Frit) والذي يسمى مزيج للتزجج ليعمل بادئ الممر (Starter path). الطاقة المنتجة تعمل على التسخين الأولي لبداي الممر والتربة المحيطة إلي درجات حرارة أعلا من ٢٠٠٠م، أو أعلا من درجات حرارة الانصهار الأولية للتربة من ١١٠٠م إلي ١٤٠٠م، بادئ الممر من الجرافيت يتم استهلاكه بالأكسدة ويتم انتقال التيار إلي التربة المنصهرة، التي تكون موصل للكهرباء. عند هذه المرحلة تم قياس درجات الحرارة ما بين ١٤٥٠ و ١٦٠٠م. مع نمو منطقة الانصهار أو التزجج، فإنها تحتوي العناصر الخطره غير المتطايرة وشبه متطايرة (مثل المعادن الثقيلة). درجة الحرارة العالية للعملية تنمر المكونات العضوية بفعل التحلل الحراري (Pyrolysis). المنتجات المتحللة تتحرك نحو السطح لمنطقة التزجج، حيث تحترق في وجود الأكسجين. الغطاء الموجود فوق المنطقة المزججة يوجه للغازات الصاعدة إلي نظام المعالجة في حالة للضرورة.

في بعض الحالات حيث يكون الخفض في الحجم كبيراً جداً بواسطة العملية وإمكانية احتواء المخلفات منخفضة، كما في حالة بعض مخلفات الحماة الخطره، فإنه يكون من المناسب دمج المواد في شكل وضع منفرد بإرسال الحماة أو التربة الملوثة إلي الأقطاب. هذا حقيقي خاصة عندما يكون عمق التلوث (أقل من ٣ متر). في تلك الحالات، فإن تغذية الحماة إلي الأقطاب سوف كذلك يدمج كل الحماة عند موقع للتخلص إلي مساحة صغيرة جداً، مع توفير باقي موقع للتخلص متاحاً للعمليات المستقبلية. المكان الذي عنده يتم دمج التربة الملوثة يتم اختياره ليكون قريباً من التشغيل العادي لوجدة للتصنيع.

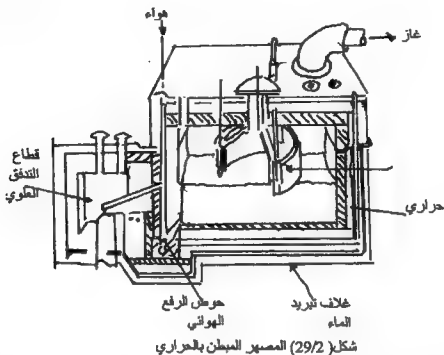
معدة العملية للترجيح موضحة في الشكل (٢٩/١). قوة إحكام الأقطاب يتم توزيعها نحو الأقطاب ومعدة خاصة لاحتواء ومعالجة الغازات الخارجة معدة للعملية اللازمة لأداء تلك المهام يمكن وصفها بسهولة وذلك بتقسيمها إلي ستة مكونات:

- الإمداد بالطاقة الكهربائية.
- حاجز الغاز العادم.
- نظام لمعالجة للغاز العادم.
- نظام التبريد بالجليكول (Glycol).
- محطة التحكم في العملية.
- معدة معاونة الغاز العادم الخارج.

باستثناء غطاء الغاز العادم، فإن كل المكونات تكون مجهزة في ثلاث مقطورات يمكن جرها لإمكان التحرك إلي أى موقع في فوق سطح التربة المدمجة. غطاء الغاز الخارج وخط الغاز الخارج، الذى يتم إقامتها في الموقع لجمع الغازات الخارجة، يتم فكهم جزئياً ووضعهم علي المقطورة عند الانتقال.

٢. المصهر المبطن بالحراريات: (Refractory-Lined Melter)

يصمم المصهر المبطن بالحراريات لخفض حجم كلا من المخلفات القابلة للاحتراق وغير القابلة للاحتراق وإخال المخلفات المتبقية في الشبكة البلورية للزجاج المستقرة. وهو مشتق من مصهرات النوع (Vermel) المستخدم في صناعة الأسواح والأواني الزجاجية. يتم تغذية المخلفات إلي حوض من الزجاج المنصهر والذي يكون عموماً عند ١٢٠٠°م بواسطة تيار كهربى بين أقطاب (Inconel 690) عند النهايات المتضادة للتجويف. يظل الزجاج في فجوة الإنصهار المبطنة بواسطة حراريات مثل (Monofrax3). هذا الحراري يكون مغطياً للعديد من المواد المركبة (Composites) من الحراريات العازلة، الكل محاط في غلاف محكم من الصلب الموضح في شكل (٢٩/٢).



يتم استخدام جهد كهربى إلى الأقطاب، يمسر تيار كهربى خلال الزجاج المنصهر الموصل، بما يوفر طاقة للمصهور لإستمرار العمل.

عند التغذية بالردغة غير القابلة للاحتراق والمخلفات الصلبة، فإنه يتم الخلط المسبق للمخلفات غير القابلة للاحتراق مع مكونات الزجاج، عند الضرورة، وقبل الدخول إلى سطح المصهور الزجاجي، للحرارة من حوض الزجاج تبخر الرطوبة وتوجد غطاء بارد الذى يحدث فيه تفاعلات تكون الزجاج. للمخلفات غير المتطايرة تكون أصهور (Flux) مع مكونات الزجاج، مكونة مصهور الزجاج.

مع تراكم الزجاج المنصهر، فإنه يتم صرفه خلال التدفق العالى وذلك بالتدفق بالجاذبية إلى وعاء الإستقبال البرميلي. عملية صب الزجاج يتم إحكامها بالرفع بالهواء (Airlift) في الماسورة للصاعدة (Riser) للفائض (Over Flow). للرفع بالهواء يمكنه صرف الزجاج باستمرار أو بطريقة منقطعة أثناء العمل.

يتم تسخين الصاعد والفائض بواسطة عناصر كربيد السيليكون لاستمرار سيولة الزجاج عند صبه.

مصهر الزجاج الرأسى يمكن أن يعمل طبقاً للعديد من معدلات الإنتاج، في حالة الردغات غير القابلة للاحتراق يمكن تصميم المصهر (Smelter) لاحتواء معدل ٩٠ لتر/الساعة لكل متر مربع من مساحة سطح الزجاج المعرض في بوتقة المصهر. معدل التصميم لتزجيج المخلفات النووية بمعدل عالى تم عند ٣٠ إلى ١٠٠ لتر/الساعة ×

المتز المربع. المجال الأعلا يسهل الوصول إليه مع معظم المخلفات الخطره لأن المخلفات النووية ذات المستوي العالي تحتوي عموماً كثير من المكونات الحرارية عن المتوقع للمخلفات الخطره. لذلك، فإن معدل الإنتاج المتوقع يمكن تنفيذه باختيار المساحة، السطحية المناسبة للزجاج المنصهر خلال حدود وتقوم الحراري.

أحد الطرق لزيادة معدل الإنتاج خلال الاستخدام للحراريات الموجودة طبيعياً، حيث يتم استخدام التربة والصخور المحلية في الإنشاء. تلك المواد يتم تشكيلها لاحتواء الزجاج المنصهر خلال مساحة الحفر بدون الحاجة إلى حرارية مكلفة ومنشأاً للتحميل. يتم وضع غطاء حراري للتطيين فوق مساحة الحفر لحجز وتوجيه الغازات للنظافة وحمل اللقطب ومكونات نظام التغذية. مواد التغذية مثل المخلفات الصلبة المنزلية، التربة الملوثة. وهكذا، يتم تغذيتها مباشرة نحو سطح حوض الإنصهار خلال مساحة الحفر. هذا يوفر خفض في التكاليف الرأسمالية ويزيد من معدل العملية إلى ما يزيد عن ٥٠ طن / اليوم.

ثم كذلك تطوير نظام تزجيج قابل للانتقال مبني علي التسخين بتصميم (Joule-Heated) والتبطين للحراري.

مصهرات الميكروويف: (Microwave Melters)

مصهرات الميكروويف تستخدم حرارة الاحتكاك للمولدة بواسطة طاقة الميكروويف لتسخين مواد المخلفات ومحتواها من المواد المكونة للزجاج في وعاء برميلي قياسي. يتم تغذية مادة للمخلفات إلى الوعاء خلال مغذي لولبي أثناء استخدام طاقة الميكروويف. مع ملء الوعاء، فإن طاقة الميكروويف تعمل على دمج المادة إلى شبه المقاومة للتشريح، وذات بلورات مستقرة، كما في حالة طاقة-جول، فإن طاقة الميكروويف يتم توجيهها متزامنة مع مادة المخلفات للانتقال الجيد للطاقة إلى مادة المخلفات.

عملية تزجيج الميكروويف تتكون من ثلاثة مكونات رئيسية. الامداد بالطاقة. نظم التغذية بالغاز وتصريف الغاز، ووعاء الصهر.

يتكون الامداد بالطاقة من مولد الميكروويف ودليل الموجة (Wave Guide).

محركات الميكروويف المنتجة بواسطة إمداد الطاقة يتم توجيهها إلى وعاء الصهر خلال دليل للموجة المعدني، دليل الموجة هذا يكون مصمماً خصيصاً لعكس الميكرويفز (Micro Waves) من حوائطها للمعدنية عند قف مادة المخلفات بالأشعاع كذلك فإن دليل الموجة يمنع الميكروويف من أن تنتشر إلى المجال الخارجي. كما نكر

مسبقاً فإن نظم التغذية والغاز الخارج هي نظم تقليدية لتغذية للحماء، للترية، أو للمادة المقطعة إلي وعاء الصهر. رغم أن النظم المتاحة تجارياً توجه عمليات الصهر في وعاء قياسي برميلي، فإن هناك أشكال أخرى مثل فرن الناقل (Conveyor Oven) المتاحة مع نظم صهر الميكروويف.

نظم الحرق التزجيج: (Combustion Vitrification Systems)

نظم الحرق التزجيج تختلف عن (Joule Heated)، الميكروويف، نظم قوس البلازما في أن الحرارة المطلوبة لصهر مادة المخلفات يتم توليدها من حرق الوقود الحفري أو من مادة المخلفات نفسها. متاح العديد من النماذج، بما فيها محرقة القرن الدوار، لإنتاج خبث منصهر لمادة المخلفات.

الفرن الدوار عبارة عن أسطوانة دوارة مبطنة بالحراريات والمركبة بميل عن الأفقي. المواد من المخلفات ومصدر الوقود (في حالة الحاجة) يتم إدخالهم عند الطرف المعاكس بطريقة التيار المعاكس. يتم تعريض مادة المخلفات إلي حالات الأكسدة (الحرارة والأكسجين) مع الدوران والتقدم إلي أسفل خلال الفرن. الفرن يعمل عند درجات حرارة كافية، تقريباً ١٢٠٠°م لتكوين خبث بعد حوالي ٢ إلى ٢,٥ ساعة من التعرض. كما في حالة نظام التزجيج يمكن عندئذ صب الخبث المنصهر في أوعية الاستقبال للتخلص أو التبريد في خزان ماء لتكوين مواد للركام لإعادة التدوير (Recycling). الفرن الحلزوني (Cyclone) عبارة عن نظام حرق تزجيج الذي يدور مادة المخلفات الدقيقة الجافة (أقل من $\frac{1}{8}$ بوصة) في حلزون أفقي مع الوقود الحفري وهواء الاحتراق. مادة المخلفات المنصهرة تصطدم علي حوائط الفرن خلال قسوي الطرد المركزي. عندئذ يتم صرف الخبث المنصهر علي طول الحوائط إلي زور الحلزوني، حيث يتم صرفه إلي وعاء الاستقبال أو للحوض المملوء بالماء للتبريد و/أو لإنتاج حبيبات الركام.

الاستخدامات والحدود:

عمليات الزجاج المنصهر يكون استخدامها لمختلف أنواع المخلفات. العديد من مكونات المخلفات يتم تدميره في العملية، بينما المكونات المتبقية يتم تثبيتها في منتج زجاج متوافق، تدمير المخلفات ينطبق أساساً علي المواد العضوية الصلبة والسائلة والكيماويات الحاملة للنترات المصاحبة للمخلفات. المكونات المثبتة تتكون من المعادن الثقيلة، النويات المشعة رماد الحريق، ومكونات متطايرة وشبه متطايرة أخرى مثل السيليكا، الألومينا، الأكاسيد القلوية.

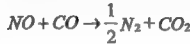
المواد العضوية الصلبة والسائلة:

المواد العضوية يتم تدميرها بالتسخين والتحلل الحراري يلي ذلك الحرق وذلك عند الالتصاق مع هواء الاحتراق الذي يتم امداده إلي عملية الزجاج المنصهر.

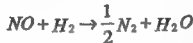
تدمير النترات:

لقد ثبت أن عمليات التزجيج في الموقع أنها مدمر ممتاز للنترات المصاحبة للتربة والحماة الملوثة، حيث ثبت أن كفاءة التدمير كانت أعلا من ٩٩,٦%. لقد ثبت أن تدمير النترات يكون عند درجة حرارة في المجال ما بين ٦٥٠ إلي ٩٥٠ م. تم عمل قياسات لتعيين تأثيرات المواد المسببة للاختزال مثل أول أكسيد الكربون والهيدروجين في غاز الاحتراق.

لقد ثبت أن تحلل (NO) يتم بتفاعلات التحلل لمركبات الإختزال. في خليط NO-CO يكون معدل تحلل NO يتناسب مع تركيز CO طبقاً للآتي:



في حالة خليط (NO-H₂) فإن معدل تحلل (NO) يزداد طبقاً لتركيز (H₂) والتفاعل كالاتي:



معدلات التحلل في التفاعلات ما بين CO, NO و H₂ يتوقف علي تركيز CO أو H₂ عندما يكون تركيز NO أعلا من ٤٠٠ جزء في المليون ولكن لا يعتمد علي تركيز (NO) نفسه. ولكن بالنسبة لتركيزات NO أقل من ٢٥٠ جزء في المليون. فإن معدل التحلل ينخفض مع تركيز CO.

لذلك، فإن آلية تحلل NO قد تلعب دوراً هاماً في التزجيج في الموقع في التربة المنصهرة حيث درجة الحرارة عالية مع وجود مكونات الاختزال.

الأكسدة المائية فوق الحرجة

Supercritical Water Oxidation



١١. مقدمة:

الأكسدة المائية فوق الحرجة تعرف بأنها الأكسدة الرطبة فوق الحرجة أو الأكسدة الحرارية المائية (Hydro Thermal Oxidation)، وهي العملية التي تستخدم الماء فوق درجة حرارته الحرجة والضغط كوسط للأكسدة الحرارية للمركبات العضوية الموجودة في مخلفات السوائل الخطره والحماة. الأكسدة السريعة للمركبات العضوية تحدث بسبب الخواص الفريدة للماء فوق الحرج ودرجات حرارة للتفاعل من ٤٠٠°م (٧٥٢° فهرنهايت) إلى ٦٠٠°م (١١١٢° فهرنهايت). لكثير من المركبات العضوية الخطره، عمليات الأكسدة المائية فوق الحرجة يمكنها إنتاج كفاءة تدمير من ٩٩,٩٩ إلى ٩٩,٩٩٩ % في زمن مكوث من دقيقتين إلى أقل من ذلك. تحت ظروف الأكسدة المائية فوق الحرجة المثالية فإن المركبات العضوية تتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون ، الماء، غاز النيتروجين، والأحماض غير العضوية.

يوجد نوعين من التصميمات لتلك الطريقة. الفرق الرئيسي في تلك التصميمات هو القدرة على تداول المخلفات العدوانية والأملاح.

٢. خواص الماء فوق الحرج:

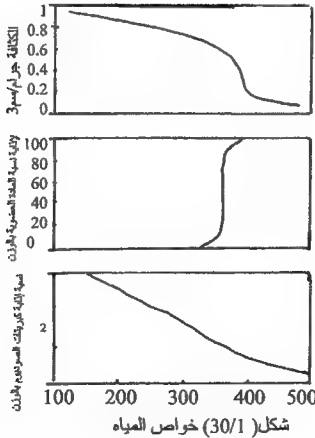
الماء فوق الحرج يعتبر وسط مثالي لأكسدة المخلفات العضوية. مع تسخين الماء وضغطه، فإن خواصه كمنظف تتغير بشدة قريباً من درجة حرارته الحرجة عند ٣٧٤°م (٧٠٤° فهرنهايت) وضغط حرج عند ٢٢,١ ميجا باسكال (22.1 MPa) أي (٣٢٠٨ رطل / البوصة المربعة).

كما هو موضح في الشكل (٣٠/١) ، عند ضغط ثابت، فإن كثافة الماء تنخفض بسرعة مع اقتراب درجة الحرارة الحرجة، جزيئات الماء يحدث لها تباعد، بما يقلل من قوتي رباط الهيدروجين بين الجزيئات المتجاورة. الخفض في رباط الهيدروجين يقلل قطبية (Polarity) للماء عالي الحرج، بما يخلق منظف ممتاز للمركبات العضوية.

كذلك فإن الكثافات ما بين المتوسط والمنخفضة للماء فوق الحرج يوفر إذابة لانهائية لمعظم الغازات، بما فيها الأكسجين. الإذابة الكاملة للمركبات العضوية والأكسجين، مع درجات حرارة للتفاعل المتوسط. ينتج عنه أكسدة سريعة للمركبات العضوية إلي ثاني أكسيد الكربون والماء.

تلك الخواص تم استخدامها في مفاعلات الأكسدة المائية فوق الحرجة للحصول علي ما يزيد عن ٩٩,٩٩% تدمير للعديد من المركبات العضوية الخطره في زمن مكوث مقداره دقيقتين أو أقل.

القطبية المنخفضة للماء فوق الحرج تقلل كذلك إذابة الأملاح، فمثلا، إذابة كبريتات الصوديوم تقل من ٣% بالوزن إلي ٠,٢% بالوزن عند ٢٥ ميجا بار (25 MPA) (٣٦٢٥ رطل / البوصة المربعة) ودرجة حرارة ١٥٠°م (٣٠٢° فهرنهايت)، ٥٠٠°م (٩٣٢° فهرنهايت) علي التوالي. هذه الظاهرة موضحة في الشكل (٣٠/١)، وتسمح بترسيب وإزالة الأملاح من المخلفات.



٢. القابلية للتطبيق: Applicability

عملية الأكسدة المائية فوق العرجة يمكن استخدامها لأكسدة المركبات الموجودة في المخلفات من كل الأنواع. تلك المخلفات تشمل مياه الصرف، السوائل العضوية المركزه (المذيبات، الزيوت) للحماة المائية والعضوية. المركبات غير العضوية مثل الأمونيا والمعادن المذابة وغير المذابة يمكن كذلك معالجتها.

الأكسدة المائية فوق العرجة تحول المركبات العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون والماء والنيتروجين والأحماض غير العضوية. الرقم الهيدروجيني لنواتج التفاعل والمنصرف (Effluent) من الأكسدة المائية فوق العرجة لمختلف المركبات موضح في الجدول (٣٠/١).

عند أكسدة المركبات العضوية (C-H-O-N)، فإن ثاني أكسيد الكربون المذاب يكون أيونات البيكربونات ويقل الرقم الهيدروجيني للمنصرف. أكسدة المركب العضوي الذي يحتوي الهالوجينات، الكبريت، أو بدائل الفوسفور تنتج ثاني أكسيد الكربون، الماء والأحماض هالوجينية (Hydrohalic)، كبريتيك، فوسفوريك. النيتروجين العضوي، مثل ذلك الموجود في الأمينات (Amines)، للكتلة الحيوية (Blomass)، يتحول أولاً إلى أمونيا، عند اقتراب درجة حرارة المفاعل من ٥٣٨°م (١٠٠٠°فهرنهايت) فإن الأمونيا تتحول إلى غاز النيتروجين وكميات صغيرة من أكسيد النيتروز (N₂O). بالمثل عند درجات حرارة أعلا للأكسدة المائية فوق العرجة فإن أول أكسيد الكربون، الهيدروجين، والغازات المنتجة الأخرى يتم أكسدتها إلى ثاني أكسيد الكربون والماء. مصير المعادن الثقيلة ليس مؤكداً ويتوقف علي العوامل البيئية مثل الرقم الهيدروجيني (pH)، جهد الأكسدة، درجة الحرارة، والضغط. في كثير من الحالات تتحول كاتايونات المعادن الثقيلة إلى أكاسيد غير مذابة.

المخلفات التي يتم تغذيتها إلى عملية الأكسدة المائية فوق العرجة تكون محدودة بتركيز المركبات العضوية، إجمالي المواد الصلبة العالقة (TSS)، الأيونات العدوانية، إذا كان مكون المخلفات الخام يزيد عن تلك التركيزات القصوي المسموح بها، فإن المخلفات قد يلزم تخفيفها إلى مستوى مقبول بخلطها مع الماء أو مخلفات متوافقة. عند خلط تغذية المخلفات مع الأكسجين في مفاعل الأكسدة المائية فوق العرجة، فإن الأكسدة للمركبات العضوية المنتجة للحرارة ترفع درجة حرارة السائل. درجات

حرارة السائل خلال المفاعل يجب إحكامها بتحديد تركيز المركبات العضوية إلى نسبة ١٥% بالوزن (كميثانول) أو استخدام طرق إحكام درجة حرارة المفاعل (فقرة-٣) . تصميم درجات حرارة السائل لا تزيد عن ٦٥٠°م (١٢٠٠°فهرنهايت). أعلا من درجة الحرارة هذه، فإن اعتبارات إجهاد الخضوع للمادة يتطلب جدار سميك جداً للمفاعل.

طبقاً للمكونات الكيماوية، الحصر، ومرونة المواد ولدافتها ولزوجتها وانسيابها (Rheology)، والالتصاق (أى الالتصاق على جدار المفاعل) للمواد الصلبة في المخلفات، وأقصى تركيز للمواد الصلبة الكلية العالقة التي يتم تخزينها في مفاعل الأكسدة المائية فوق الحرجة قد يتراوح ما بين ١٠-٢٠% بالوزن. أقصى تركيز للمواد الصلبة العالقة يتوقف كذلك على عوامل التصميم مثل السرعة درجة حرارة المفاعل، مادة الإنشاء.

المواد العدوانية وهي العامل الثالث لمعيار المخلفات، يشمل الأحماض، القلويات، والهاليد (Halide)، الكبريتات، السلفيدات (Sulfide)، الأملاح. هذه يمكن أن تكون موجودة أولاً في التغذية أو تكونت أثناء أكسدة المركبات العضوية المهلجنة أو البديلة (Substituted). بسبب للتغير في خواص المخلفات، فإن أقصى عدوانية مسموح بها يجب أن يتم تعيينها لكل حالة على حدة.

تكنولوجيا (ECO-Waste Technologies) للمعدة بعملية مفاعل أنبوبي قادرة على معالجة المخلفات المحتوية على العديد من نسب العدوانية بالوزن، عملية مفاعل (General Atomics Vessel) تستخدم بطانة مقاومة للعدوانية ونظام إضافي لمعادلة الحامض ليتمكن من المعالجة المسبقة للمخلفات المحتوية على تركيزات عالية من العدوانية، كلا هاتين العمليتين تم تطويرهما بهدف تحسين إمكانياتهم في تداول المواد العدوانية.

٤. عمليات الأكسدة المائية فوق الحرجة:

عمليات الأكسدة المائية فوق الحرجة تحتاج إلى ستة عمليات مفردة (Unit Operations)، التغذية بالضغط، تسخين للشحنة، التفاعل، تبريد المنتج، إزالة الضغط من المنتج، وفصل المنتج. عمليات الأكسدة المائية فوق الحرجة تختلف أساساً في قدرتها على تداول الأنواع العدوانية، الأملاح، للمواد الصلبة العالقة. سيتم وصف عمليات المفاعل الأنبوبي والقدرة.

نظام المفاعل الأنبوبي: Tubular Reactor Systems

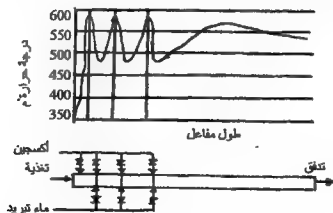
مخطط لنظام المفاعل الأنبوبي ECO-Waste Technologies موضح في الشكل (٣٠/٢). في خزان التغذية يتم خلط المخلفات، وعند الضرورة تخفيفها لخفض المركب العضوي، المواد للصلبة العالقة، وتركيز للمواد العضوية غلي دون أقصى تركيزات مسموح بها. يتم ضغط التغذية بواسطة طلمبة الضغط المنخفض إلى حوالي ٠.٧ ميجابار (0.7 MPA) (١٠٠ رطل/البوصة المربعة) لإعادة التكوين إلى خزان التغذية وتوفير ضغط امتصاص موجب صافي إلى طلمبة التغذية عالية للضغط. طلمبة التغذية عالية الضغط تضغط الشحنة إلى ٢٧.٦ ميجابار (٤٠٠٠ رطل/البوصة المربعة) لضمان ان ضغط السائل يظل أعلا من الضغط الحرج بعد معاناة نظام الفقد في الضغط للنظام. الأكسجين السائل يتم تخزينه في خزان قريب. يتم ضغط الأكسجين السائل بواسطة طلمبة ضغط عالي ذات درجة الحرارة المنخفضة (Cryogenic). يتم عندئذ تبخير الأكسجين السائل في مبادل حراري قبل تدفقه إلى مدخل المفاعل.

الشحنة المضغوطة تتدفق خلال مبادل حراري متجدد يعمل بالتيار المعاكس، حيث يتم تسخينها من درجة الحرارة العادية إلى ٢٢٨-٣٧١°م (٥٥٠ إلى ٧٠٠°فهرنهايت) بواسطة الناتج من المفاعل الساخن. يلي ذلك تسخين الشحنة ثانياً إلى قريباً من النقطة الحرجة (٣٤٣-٤٠٠°م) أو (٦٥٠-٧٥٠°فهرنهايت) بواسطة سخان تهيئ (trim Heater) مع تدفق للشحنة السابق تسخينها خلال المفاعل الأنبوبي، يتم حقن غاز الأكسجين عالي الضغط عند نقط مختلفة على طول المفاعل. عند درجات الحرارة هذه، فإنه ينتج للخلط سريع لكل من الأكسجين والمواد العضوية معدل أكسدة عالي. الحرارة المنتجة بتفاعلات الأكسدة يمكنها للزيادة للسريعة درجات حرارة السائل حتى ٦٥٠°م (١٢٠٠°فهرنهايت).

المنصرف (Effluent) يتم تبريده بواسطة مبادل الحرارة المجدد، غلاية البخار، ومبرد الهواء المنصرف الساخن من المفاعل يمر أولاً خلال المبادل الحراري المجدد حيث يتم تبريده إلى ٣١٦ إلى ٤٠٠ م° (٦٠٠ إلى ٧٥٠ فهرنهايت). يتم تبريد المنصرف بعد ذلك إلى ٢١٦ م° (٤٢٠ فهرنهايت) في غلاية البخار، حيث الحرارة المنقولة يمكن أن تستخدم لتوليد ١,٨ ميجابار (٢٥٠ رطل/البوصة المربعة) بخار. مبرد الهواء أخيراً يقلل درجة حرارة للمنصرف إلى أقل من ٥٤ م° (١٣٠ فهرنهايت).

في المبادل الحراري المجدد (بالاسترجاع)، يتم نقل كمية ضخمة من الحرارة من المنصرف الساخن إلى الشحنة الباردة من تغذية المخلفات درجة الحرارة العالية للمنصرف وزيادة كثلة التدفق للمنصرف (من حقن الماء البارد) يمكن أن يكون كافياً لتسخين تغذية (شحنة) المخلفات الباردة إلى درجة الحرارة المطلوبة للدخول إلى المفاعل. عموماً، إذا كانت شحنة التغذية للمخلفات ما لا يقل عن ٧% بالوزن من المواد العضوية (مثل الميثانول)، فإن مسخان الإصلاح يصبح غير مطلوب، التركيزات العالية من المواد العضوية سوف تسمح بمبادل حراري مجدّد أصغر وتوليد كميات أكبر من البخار في الغلاية.

المنصرف البارد، يتم خفض ضغطه إلى ٠,٥ ميجابار (٦٠ رطل/البوصة المربعة) بتجهيزه خفض الضغط وإزالة الغازات (Degassed) في جهاز فصل السائل/الغاز. الغاز الخارج والذي يتكون أساساً من ثاني أكسيد الكربون، بخار الماء، الأكسجين المتبقي، يتم صرفه مباشرة في الجو. المنصرف السائل يتم تخزينه في حوض المنصرف للتحلل والصرف. فصل المواد الصلبة وترشيح المنصرف قد يكون مطلوباً عندما يحتوي المنصرف على مواد صلبة خاملة.



شكل (30/3) درجة حرارة المفاعل ونظم التحكم في درجة الحرارة للمفاعل الأنبوبي

جدول (٣٠/١) نواتج المعالجة لمختلف المكونات بطريقة الأكسدة المائية فوق الحرجة

المركب	نواتج تفاعل المنصرف	الرقم الهيدروجيني للمنصرف
١	٢	٣
مواد عضوية Methylethyl Ketone, C_3H_8O Trichloroethane $C_2H_3Cl_3$ Thiodiglyco $C_4H_{10}O_2S$ Amine R_3N Cell Mass $C_5H_7NO_2$	H_2O, CO_2 H_2O, CO_2, HCl H_2O, CO_2, H_2SO_4 H_2O, CO_2, H_2 H_2O, CO_2, N_2	حامضي إلى حمدا حامضي حامضي حامضي إلى حمدا حامضي إلى حمدا
مواد غير عضوية أمونيا NH_3 هيدروجين H_2 أول أكسيد الكربون CO معادن مذابة وغير مذابة	N_2, H_2O H_2O CO_2 طبقاً لكل حالة	متعادل متعادل حامض قليلاً مختلف

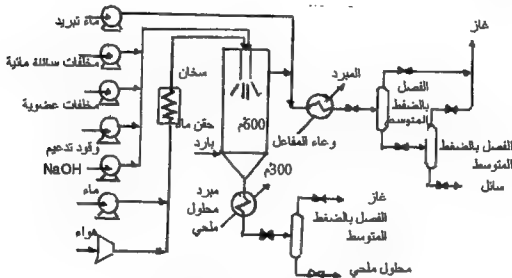
نظام قدر المفاعل : Vessel Reactor System

مخطط لنظام هذا المفاعل موضح في الشكل (٣٠/٤). الماء، المخلفات المائية، المخلفات العضوية، الوقود الإضافي (في حالة الضرورة)، أيدروكسيد الصوديوم، ماء التبريد يتم ضخهم من الضغط الجوي إلي ضغط ٢٢,٧ ميجا با (٣٣٠٠ رطل/البوصة المربعة). يستخدم الهواء المضغوط كمصدر للمؤكسد. كلا من الهواء المضغوط والماء، اللذان يشكلان معظم الكتلة لتدفقات شحنة التغذية يتم خلطهم وتسخينهم المسبق قبل الدخول في قدر المفاعل. يتم حقن المخلفات وأيدروكسيد الصوديوم في قدر المفاعل بدون للتسخين المسبق.

وعاء المفاعل الأسطواني ينشأ من سبيكة مناسبة عالية القوة ويبطن بواسطة سبيكة التيتانيوم لتوفير القوة الميكانيكية المناسبة ومقاومة التآكل.

تدفقات المخلفات في الاتجاه إلي أسفل خلال قمة المفاعل خلال نافورة مدخل التغذية. نافورة مدخل التغذية (Nozzle) تبرز متحدة المركز (Concentrically) نحو منطقة المفاعل فائقة الحرج لتسمح بخلط شحنة التغذية بالمخلفات وكذلك التبادل الحراري ما بين المنصرف وشحنة التغذية. للتغذية تدخل المنطقة فائقة الحرج وتخلط فوراً مع السائل المعاد تكويره الموجود مسبقاً في المفاعل، للمركبات العضوية تتأكسد

بسرعة ، حرارة الأكسدة تعمل علي استمرار المنطقة فائق الحرج للمفاعل عند ٦٠٠°م (١١١٢°فهرنهايت). الأحماض المنتجة خلال الأكسدة يتم تعادلها بحقن محلول أيدروكسيد الصوديوم، إذا كان المحتوي الحراري لخليط المخلفات لا يمكنه تحمل درجة الحرارة ٦٠٠°م في المنطقة فائقة الحرج ، فإنه يمكن حقن وقود إضافي مع المخلفات. الخليط المتفاعل يغير اتجاه التدفق قريباً من الفاصل بين المناطق عالية الحرج ودون الحرج ، ومع الاقتراب من قمة المفاعل، يتم إما إعادة تدويره مع خليط المخلفات القادمة، أو الخروج من المفاعل خلال الفضاء الحلقي، للمواد الكثيفة مثل الأملاح غير المذابة، والمواد الصلبة الخاملة، تصطدم علي سطح المسائل للمنطقة دون الحرج وتزال كمرکز مالح كثيف (Dense Brine) خلال قاع المفاعل. المنطقة دون الحرجة تظل عند ٣٠٠°م (٥٧٢°فهرنهايت) بحقن الماء البارد. يتم تبريد المركز المالح وإزالة ضغطه، ثم إزالة الغازات في فاصل الضغط المتوسط (Medium Pressure Separator).



شكل (30/4) عملية مفاعل (قدر المفاعل)

المنصرف من المفاعل يتم خلطه مع الماء البارد قبل تبريده إلي ٢٣٠ إلي ٣٤٠°م (٤٤٦ إلي ٦٤٤°فهرنهايت) في مبرد. يتم حقن الماء البارد لإزالة أى أملاح محتجزة التي يمكن أن تحدث انسداد للمبرد، يتم التبريد الثاني للمنصرف قبل خفض الضغط والفصل في أجهزة الفصل ذات الضغط المتوسط والمنخفض. تكفقات الغازات للخارج

يتم جمعها وصرفها في الجو، والسائل المنصرف يتم تخزينه أو إعادة استخدامه كماء تبريد.

في نظام بديل لهذا الجهاز يتم ابعاد المنطقة دون الحرجة وإزالة نظام المحلول الملحي المركز وكل المنصرف للخارج يتم صرفه من قاع القدر.

جدول (٣٠/٢) كفاءة التدمير لمعالجة المخلفات الصناعية الخطره

كفاءة إزالة التدمير (كل الكربون العضوي) %		المخلفات
مفاعل أنبوبي	مفاعل القدر	
٩٩,٩٥٥	٩٩,٩٥٥	حمأة الطلاء بأساس عضوي
٩٩,٩٩٢	٩٩,٩٩٢	سوائل البويات المائية
٩٩,٩٩٤	٩٩,٩٥٢	حمأة مواد اللصق
٩٩,٩٨٢	٩٩,٨٩٢	الشحوم والمزلاقات
٩٩,٩٩٥	٩٩,٩٩٤	خليط مذيبات
٩٩,٩٩٣	٩٩,٩٩٨	مخلفات الزيت غير الكلور
٩٩,٩٩٤	٩٩,٩٩٩	مخلفات الزيت الكلور
٩٩,٩٩٦	٩٩,٩٩٥	خليط المخلفات

نظم البلازما

Plasma Systems



١١. مقدمة:

استخدمت نظم تكنولوجيا البلازما تجهيزه قوس البلازما (Plasma-Arc) لإنتاج درجات حرارة عالية الارتفاع (التي تقترب من ١٠٠٠٠م) لتدمير المخلفات عالية السمية. الانبعاثات الغازية (غالباً H_2 , CO)، غازات حامضية في جهاز الغسيل، ومكونات الرماد في جهاز الغسيل تلك هي المواد المتبقية، . مميزات النظام هو أنه يمكنه تدمير المواد المنيعه، المعدة يمكن أن تكون محمولة والعملية لها دورة تشغيل وتوقف قصيرة جداً.

واحد يكون قوس البلازما لتدمير المخلفات السائلة والآخر لتدمير المخلفات الصلبة.

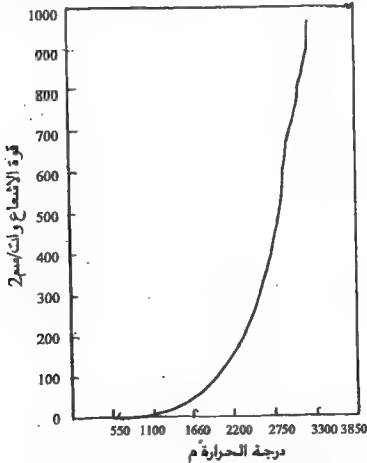
رغم أن البلازما تم استخدامها بنجاح في الصناعات المعدنية إلا أن استخدام قوس البلازما لتدمير المخلفات لخطره مازال في مرحلة التجارب الريادية. للتجارب الأولية أظهرت أن قوس البلازما هو البديل للوحد لتدمير المخلفات مثل الحماة الملونة بالدايوكسين (Dioxine)، ويمكن استخدامها لتدمير معظم للمخلفات العضوية الخطره وكذلك الحماة اللازم للتخلص منها.

٢. وصف التقنية:

الطريقة العادية لتوليد البلازما هي التفريغ الكهربائي خلال غاز Electrical Discharge Through Gas). الغاز المستخدم يكون غير هام نسبياً نحو خلق التفريغ، ولكن سوف يؤثر علي المنتجات المتكونة. عند المرور خلال الغاز تتحول الطاقة الكهربائية إلي طاقة حرارية ويتم امتصاصها بواسطة جزيئات الغاز. والتي يتم تنشيطها إلي الحالة المؤينة الذرية، حيث تنفد الإليكترونات في العملية. يمكن الحصول علي درجات حرارة للقوس حتي ١٠,٠٠٠م علي طول خط المحور لدوران الدوامة (Along Centerline of Recirculation Vortex). ينبعث الاشعاع عند استرخاء (Relax) الذرات من حالات النشاط العالي إلي مستويات للطاقة المنخفض عند استخدام البلازما للتخلص من المخلفات، فإنه يجب تفهمها علي أنها تجهيز لتحويل الطاقة أو لنقل

الطاقة، مع تحلل المكونات المنشطة للبلازما فإن طاقتهم تنتقل إلى مادة المخلفات المعرضة للبلازما. عندئذ يتم ترزيز المخلفات، تأينها تحللها بالحرارة (Atomized, Ionized, Pyrolyzed) وأخيراً تدميرها حيث تتفاعل مع أنواع البلازما المتحللة. نظرياً تدمير المخلفات سوف ينتج جزيئات بسيطة أو ذرات مثل الهيدروجين، أول أكسيد الكربون، الكربون، وحامض الهيدروكلوريك. للغازات المنتجة من نظام البلازما يتم غسلها (Scrubbed) لإزالة حامض الهيدروكلوريك ثم إشعالها (Flared).

أحد العوامل الحاكمة في تدمير المخلفات بقوس البلازما هو انتقال حرارة الإشعاع. الآتي مثال لتوضيح كيف أن جسيم الكربون يمكن أن تزداد درجة حرارته من درجة حرارة الجو العادي إلى ٢٢٠٠°م في مجال الانتقال لحرارة الإشعاع.



شكل (31/1) النبعث الإشعاع من للجسم الأسود مقليل درجة الحرارة

معادلة انتقال حرارة الإشعاع يمكن التعبير عنها بالآتي:

$$P = QGT^4$$

حيث:

$P =$ قوة الإشعاع للجسم الأسود علي وحدة المساحة (W/Cm^2)

$Q =$ ثابت (Ste Fan-Boltzman) ($5.68 \times 10^{-12} W/(Cm^2 K^4)$)

$G =$ لنبعاثية للمادة ($0 < G < 1$)

$T =$ درجة الحرارة المطلقة للمادة (K).

هذه الدالة موقعة في الشكل (٣١/١) ، والذي يبين أن الإشعاع كطريقة انتقال حراري لا يكون ذو دلالة أو معني حتي الوصول إلي درجة حرارة مقدارها ١٦٥٠°م.

طيف مشع الجسم الأسود يتغير، من الطبيعي، مع درجات الحرارة. الشكل (٣١/٢) يبين التوزيع الطيفي النسبي للجسم الأسود.

قريباً من الأشعة تحت الحمراء، كثيراً من المواد تكون ذات كفاءات امتصاص عالية، فمثلاً، الفحم، له معامل امتصاص مقداره ١٠ سم^{-١} ($10^3 Cm^{-1}$) والذي يعني (مع التقريب الأول) أن معظم الطاقة الساقطة يتم امتصاصها في الطبقة السطحية بمقدار سمك (١٠ سم) ($10^{-3} Cm$) .

معدل ارتفاع درجة الحرارة علي سطح جسيم الفحم يمكن تقديره بالمعادلة:

$$\frac{T}{t} = \frac{P}{MC}, M = \frac{d}{a}$$

حيث:

$T =$ الارتفاع في درجة الحرارة.

$t =$ وحدة الزمن .

$P =$ قوة الإشعاع Radiative Power

$C =$ الحرارة النوعية.

$M =$ الكتلة.

$d =$ الكثافة.

$a =$ معامل الامتصاص.

عند ٢٢٠٠°م تكون قوة الإشعاع للجسم الأسود في حدود ($200 W/Cm^2$) . الحرارة

النوعية للفحم [$0.9 J(g.^{\circ}F)$] وكثافته ١,٤ جرام /سم^٣، لذلك فإن معدل ارتفاع درجة

الحرارة علي سطح الفحم يكون

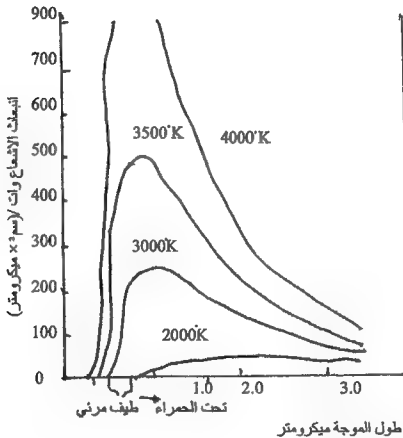
$$\frac{T}{t} = \frac{200 \times 10^5}{1.4 \times 0.9}$$

$$= 1.58 \times 10^7 \text{ } ^\circ F / S$$

حيث $W = I/S$

لذلك يكون الوقت اللازم لارتفاع درجة الحرارة إلى 2200°م ($4000^\circ \text{فهرنهايت}$) على سطح الفحم الماص هو :

$$t = \frac{4000}{1.58 \times 10^7} = 2.5 \times 10^{-4} S$$



شكل (31/2) الانبعاث الطيفي من الجسم الأسود عند درجات الحرارة المختلفة

٢. قوس البلازما لتدمير المخلفات السائلة:

مخطط لنظام قوس البلازما لتدمير المخلفات السائلة موضح في الشكل (٣١/٣) المكونات الرئيسية تشمل نظام التغذية بالمخلفات السائلة، بطارية البلازما، المفاعل، وحدة الغسيل للكاوية، معدة التحليل علي الخط ومحركة. النظام المبين كان بمعدل ٤

كيلوجرام/الدقيقة أو ٥٥ جالون/الساعة تقريباً من تغذية المخلفات وكان مبيتاً في مقطورة بقطر ٤٥ قدم معدل إنتاج الغاز قبل وبعد الحرق كان حوالي ٥ إلى ٦ متر مكعب في الدقيقة ٣٠ إلى ٤٠ متر مكعب في الدقيقة علي التسوالي. لأغراض أخذ العينات ، تم انشاء غرفة حرق للملوثات ومنخدة ١٠ متر لتسهيل الاختبار.

تزجيج قوس البلازما: Plasma Arc Vitrification

يمكن وصف تزجيج قوس البلازما كالآتي:

يحدث تزجيج قوس البلازما في فرن البلازما المركزي بعملية المعالجة الحرارية حيث الحرارة من قوس البلازما المنقولة تخلق قوساً منصهرًا عند إزالة السمية (Detoxified) 9 من مادة للتغذية . الملوثات العضوية يتم تبخيرها وتتفاعل عند درجات حرارة من ٢٠٠٠ إلى ٢٥٠٠ فهرنهيت لتكون منتجات غير ضارة (Innocuous Products). للمواد الصلبة المنصهرة يتم تزجيجها في حوض الانصهار عند درجة حرارة ما بين ٢٨٠٠ إلى ٣٠٠٠ فهرنهيت. المعادن يتم احتجازها في هذا المجال عند التبريد، فإن هذا المجال يكون غير قابل لإزالة الأملاح منه بالغسيل (NonLeachable) في شكل متبقي زجاجي الذي يتطابق مع المعايير المقررة التربة الملوثة تدخل الفرن المعزول خلال المغذي شكل (٣١/٤). بئر المفاعل يدور خلال معالجة المخلفات. قوة الطرد المركزي الناتجة عن هذا الدوران تمنع المادة من المسقوط خارج القاع وتساعد في الانتقال الحراري والطاقة للكهربية خلال المجال المنصهر بالتساوي. من أن إلي آخر ، يتم تصريف جزء من الخبث المنصهر الذي يسقط إلي غرفة الخبث ليتجمد.

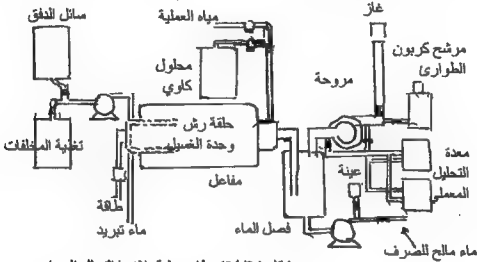
الغاز الخارج يسير نحو غرفة الحرق الثانية، حيث يظل عند ٢٠٠٠-٢٥٠٠ فهرنهيت لمدة تزيد عن ٢ ثانية. هذا يسمح بإتمام التكمير لأي مواد عضوية في الغاز، بعد المرور خلال غرفة الحرق الثانية، فإن الغازات تمر خلال عدة تجهيزات لإزالة الجسيمات والغازات الحامضية. في حالة إختلال العملية فإن خزان الاضطراب (Surge Tank) يسمح بالحجز لإعادة المعالجة.

المتبقي من نظام النظافة يمكن أحياناً تغذيته ثانياً إلي الفرن. الأملاح الناتجة من معاملة الكلوريدات يجب التخلص منها، في بعض الحالات يمكن استعادة المعادن من الحماة المغسولة.

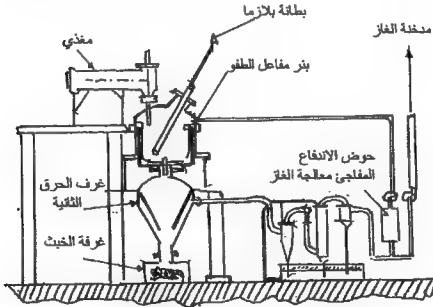
المركبات العضوية السائلة والصلبة والمعادن يمكن معالجتها بهذه التقنية. وهو يكون من المناسب لمخلفات المصانع الكيماوية والمنتجات الثانوية، المخلفات المخلوطة بمواد مشعة، التربة الملوثة، يكون مناسباً كذلك للمخلفات الطبية ورماد المحرقة.

٤. طاقة البلازما لمعالجة المخلفات الطبية:

لقد قامت إحدى المنشآت البحثية باختبار واستخدام طاقة البلازما لمعالجة مختلف المخلفات بما فيها للمخلفات الطبية المعدية. معالجة طاقة البلازما للمخلفات نتج عنه إثنتين من المنتجات المتبقية والتي هي صديقة للبيئة، الخبث الزجاجي غير القابل لإزالة الأملاح منه (Non Leachable) وغاز الذي يمكن استخدامه كوقود أو حرقه بنظافة.



شكل (31/3) نظام عملية بلازما التحلل الحراري



شكل (31/4) فرق بلازما الطرد المركزي

نظراً لأن مشاعل (Torches) قوس للبلازما التجارية متاحة في أحجام تتراوح من طاقة ٩٠ كيلو إلي ٥ كيلوات، فإنه من الممكن تغيير الحجم والطاقة لنظام معالجة المخلفات. فمثلاً، النظام الذي يستخدم نظام ٥٠٠ كيلوات يمكن بسهولة معالجة نصف طن في الساعة، وهذا يكفي لمعالجة كل المخلفات لانتاجة من مصحة ذات ٤٠٠ سرير في وريدية من ٨ ساعات. مركز المخلفات الطبية الإقليمي للمصمم لمعالجة المخلفات المعدية (الكيس - الأحمر) من عدة مستشفيات يكون مبنياً علي اثنين (1-Megawatt) من مشاعل البلازما ويمكن من معالجة حتي ٣٠ طن في اليوم، يكون من الممكن وضع نظام مشعل صغير جداً (٩٠ كيلوات) علي ناقلة واستخدامها لمعالجة المخلفات في مواقع مختلفة، هذا النظام الصغير يمكن تزوجه مع حاملة مجهزة بمولد كهربائي للاستخدام في الأماكن البعيدة.

نظام طاقة البلازما لمعالجة المخلفات يتكون من خمس مكونات رئيسية.

١. نظام تداول مادة المخلفات.
٢. نظام تغذية المخلفات.
٣. نظام تسخين البلازما، وغرفة المعالجة (الفرن).
٤. نظام تجميع الخبث.
٥. نظام معالجة انبعاثات الغاز.

ولقد كان أول استخدام لمعالجة المخلفات الطبية بالبلازما في عام ١٩٩٢ في كاليفورنيا.

٥. المميزات والعيوب:

المميزات:

* نظراً لأن انتقال الحرارة الإشعاعية يتقدم بقوة رابعة لدرجة الحرارة، فإن نظام البلازما له قوة إشعاعية مركزة وذلك يكون قادراً علي نقل حرارته أسرع كثيراً عن اللهب العادي.

* الكلوريدات العضوية معلوم أنها تفقد الهيدروجين (Dehydrogenate) عند إثارتها بالأشعة فوق البنفسجية، والتي هي متوفرة من البلازما الحرارية.

* نظراً لأن قوس البلازما لتكمير المخلفات هو عملية تحلل بالحرارة، فإنه لا يحتاج إلي الأكسجين. مقارنة بالمحارق التقليدية والتي عادة تتطلب حوالي ١٥٠ % هواء زائد لضمان الاحتراق الحقيقي، قوس البلازما سوف يوفر الطاقة

- اللازمة لتسخين الهواء إلى درجة حرارة الاحتراق وكذلك سوف ينتج غازات أقل التي يتم معالجتها تحت التيار.
- العملية لها دورة تشغيل وتوقف قصيرة.
- نظراً لأن نظام قوس البلازما يكون مدمجاً فإن له استخدام في نظام المعالجة المتحركة، حيث يتم إيواء النظام في ناقلة ولتحرك من مكان إلى آخر.

العيوب:

- نظراً لأن درجة الحرارة عالية الارتفاع (حوالي ١٠٠٠٠م عند محور القوس)، فإن قوة تحمل القوس والمواد الحرارية يمكن أن تكون مشكلة كبيرة.
- لأن القوس شديد الحساسية لعوامل كثيرة مثل الهبوط المفاجئ في الفولت، فإن تشغيل النظام يحتاج إلى محترفين لهم تدريب عالي.

إعتبارات التصميم:

عموماً نظام قوس البلازما يتضمن المكونات الرئيسية التالية:

- تغذية المخلفات.
- قوس البلازما.
- منطقة إعادة الجمع (Recombination).
- المفصلة.
- المشعل (Flare).
- التحكم.

المكون الأساسي هو الأقطاب (Electrodes) لإنتاج القوس الضروري، نظراً لأن نظم قوس البلازما مازالت في مرحلة التطوير، فإن المعلومات التفصيلية عن التصميم تكون في معظمها سرية وليست متاحة للنشر.

عمليات التحلل بالحرارة

Pyrolysis Processes

32

عمليات التحلل بالحرارة:

١. عمليات التحلل الحراري:

هي واحدة من بين العمليات الحرارية العديدة للاستخدامات الصناعية التي تشمل التكسير للبترول، الصناعات الأليكترونية، وتحويل الكتلة الحيوية والمخلفات إلى طاقة ووقود، وقد استخدمت منذ زمن بعيد لإنتاج الفحم النباتي من الخشب، استخدمت التحويلات بالتحلل الحراري المواد الصلبة والمواد المسائلة في العمليات ذات كفاءة الطاقة العالية وذات تأثير بيئي ضعيف مقارنة بالطرق الحرارية الأخرى للتحول.

تحديداً يمكن تعريف التحلل بالحرارة أنه تحلل المواد العضوية في عدم وجود الأكسجين أو أي غازات تفاعل أخرى. عملياً، يشير التحلل الحراري إلى أي عملية تحلل حراري التي فيها يوجد أكسجين أقل من الكميات التكافئية. وهذه تشمل التحلل الحراري بالأكسدة (Oxidative Pyrolysis)، الاحتراق في حالة نقص الأكسجين (Oxygen-Starved Compusion)، والتحلل الحراري بالهيدروجين (Hydropyrolysis) حيث يوجد الهيدروجين ويساهم في تفاعلات التحلل الحراري. كما هو معارض للفظ الحراري (Thermal Desorption) أي عدم الامتصاص الحراري، حيث يحدث التبخر فقط، فإن التحلل الحراري يتضمن تفاعل كيميائي وكذلك تجفيف، تبخر. التحلل بالحرارة لبعض المواد غير العضوية يشار إليه بالتحميمص (Calcination).

٢. كيمياء التحلل بالحرارة:

التحلل الحراري للمواد العضوية تحت دراسته جيداً، للتفاعلات الكيميائية التي تحدث تشمل التفكك الأولي للمادة وتفاعلات تالية للمنتجات المتكونة، منتجة ينتج من خليط الغازات (H_2CO).. إلخ سوائل قابلة للتكثيف (زيوت أو قار) ومتبقي صلب (مواد عضوية وقار). تلك التفاعلات يمكن أن تتضمن مسار الشق الحر أو تماثل أو بالتحفيز أو غير متجانس (Free Radical Pathways or Homolytic or Catalyzed, Include Heterogenous Routes) السوائل والغازات المنتجة من عملية التحلل بالحرارة تستخدم كوقود، على الجانب الآخر المواد الصلبة المنتجة في التحلل بالحرارة يمكن أن تكون

منتجات عالية القيمة مثل مواد الانمصااص، الأقطاب، حوامل العامل الوسيط ومواد أخرى.

الأنواع ذات الأساس الكربوني يحدث لها تفاعلات متتالية خلال التحلل بالحرارة. تفاعلات التحلل الأولي تكون ماصة للحرارة (Endothermic) ولذلك تتطلب طاقة لحدوثها، للتفاعلات الأولية تتضمن التكسير (Cracking)، حيث فيه الأنواع ذات القابلية للتطاير تتشقق إلى أنواع أكثر تطايراً.

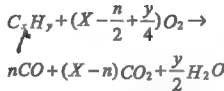


تفاعلات أولية أخرى تتضمن التكثيف، الحلقية (Cyclization)، إزالة المياه (Dehydration)، بما يؤدي إلى أنواع أقل تطايراً وبالتالي تكوين التلحم.



المنتجات المتطايرة المتكونة في تلك العمليات يمكن أن يحدث لها تفاعلات ثنائية إلى منتجات أخف، غازات، قار.

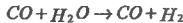
تفاعلات الهيدروكربونات مع مكونات أخرى تلعب دوراً هاماً في عمليات التحلل بالحرارة. في حالة وجود الأكسجين، يمكن أن يحدث احتراق جزئي لتكوين CO_2, CO (تحلل بالحرارة مؤكسدة).



يستخدم الاحتراق المحكم في بعض العمليات لتوفير الطاقة لتفاعلات التحلل بالحرارة، كذلك بخار الماء يمكن كذلك أن يتفاعل مع الهيدروكربون الاصلاح البخار (Steam Reforming)، عادة يكون العامل الوسيط المعادن في مفاعل التحلل بالحرارة.

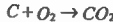
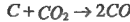


الغازات المتكونة في التفاعلات السابقة يمكنها التفاعل مع تبديل تفاعل الماء-الغاز.



أخيراً، القار المتكون في عملية التحلل بالحرارة يمكن تغويزه (Gasified) بالبخار، أو الأكسجين.





التفاعلات السابقة وأخري ترجع إلي المجال الكبير للمنتجات من عملية التحلل بالحرارة. الهيدروكربونات المحتوية مختلف للذرات (O,S,N..etc) يحدث لها بعض أنواع التفاعلات كما سبق شرحه ولكنها تكون منتجات مثل (NO_x, H_2S) الذى يجب إزالتها من نواتج العملية.

كثيراً من المخلفات الخطره تحتوي علي الهيدروكربونات المهلجنة والتي يحدث لها عملية تكسير وتكثف كما في حالة الأنواع غير المهلجنة (Halogenated) ولكن يتم إنتاج HCL أثناء التحلل والذى يجب إزالته من خلال غسيل الغاز العادم. تحلل الهيدروكربونات المكورة نال اهتماماً كبيراً نظراً لما يرتبط به من تكوين المركبات المكورة عالية السمية في العمليات الحرارية مثل مركبات (Polychlorinated Dibenzo Dioxins and Dibenzo Furans).

٢. عمليات التحلل بالحرارة للمخلفات الخطره:

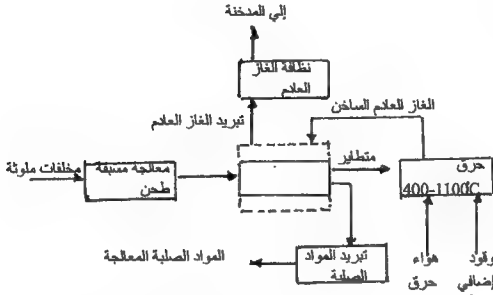
Hazardous Waste Pyrolysis Processes:

عمليات التحلل بالحرارة قادرة علي تدمير معظم أنواع المخلفات الخطره، من السوائل (مثل المخلفات من المذيبات) إلي الخليط غير المتجانس من المخلفات الصلبة (الحماة ، التربة الملوثة ... إلخ) بتصميمات مختلفة طبقاً لنوع الملوث المطلوب معالجته.

أ. الفكرة العامة للعملية: Process Concepts

يوجد خطوتين في تصميمات كل عملية للتحلل بالحرارة، الأولى هي التحلل بالحرارة والتي تشمل التطاير والتحلل الجزئي للمادة الخطره وفصل المادة المتطايرة /المتحللة من المادة الصلبة المتبقية (في حالة وجودها). الخطوة الثانية هي الحرق للمواد المتطايرة المنتجة إلي CO_2 , H_2O تلك الخطوة قد تحتاج إلي وقود إضافي للحصول علي درجة الحرارة الضرورية للتميز وعادة تتطلب نظافة الغاز العادم. مخطط لعملية التحلل بالحرارة للمخلفات الخطره. المواد الصلبة الملوثة موضح في الشكل (٣٢/١).

عند التصميم والتشغيل الجيد فإن عمليات الحرارية / الحرق (Pyrolysis/Incineration) المشتركة لها فوائد كثيرة مقارنة بالحرق المباشر للتخلص من المخلفات، وخاصة عندما تحتوي المخلفات علي مكونات زائدة غير عضوية.



شكل (32/1) طريقة التحويل بالتحلل الحراري للملوثات الخطره للمواد الصلبة

مميزات عمليات التحلل بالحرارة:

١. التحلل بالحرارة يحدث عند ٤٠٠-٨٠٠م أقل من ١١٠٠-١٣٠٠م اللازمة في الحرق المباشر. مادة المخلفات غير العضوية تكون لذلك معرضة فقط إلى درجة حرارة معتدلة مقارنة بالحرق، بما لا يسبب انسداد، خفض للانبعاثات وخفض البري لمعدة تداول للمواد الصلبة.
٢. تفاعلات التحلل بالحرارة تكون ماصة للحرارة بما يمكن من التحكم في درجة حرارة التحلل بالحرارة بتنظيم إضافة الحرارة.
٣. تكون الرماد المتطاير يكون أقل مقارنة بالحرق المباشر لأن الاضطراب في غرفة التحلل بالحرارة يكون أقل، وبذا يقل الحجز للجسيمات الصلبة.
٤. تطاير المعادن-الثقيلة والانبعاثات يقل كثيراً لأن تدفق المخلفات يكون معرضاً فقط إلى درجات حرارة معتدلة.
٥. إجمالي CO_2 المنتج يكون أقل عن حالة الحرق المباشر، علي أساس أن القار المتكون في عملية التحلل بالحرارة يكون مناسباً للتخلص بدلاً من الحاجة إلى حرقه.
٦. الحرق للمواد المتطايرة من التحلل بالحرارة يكون عالي الكفاءة ، بما ينتج عنه التدمير الكامل للمواد العضوية إلى الماء و CO_2 . حالات الحرق للمواد المتطايرة يمكنها كذلك تصميمه لخفض تكوين ملوثات معينة مثل (NO_x) .

٧. يمكن إضافة المادة الكاوية خلال التحلل الحراري للمخلفات المهلجنة (Halogenated Wastes) وذلك لحجز الهالوجينات مثل هاليدات الصوديوم (Sodium Halides) وبذا تقل أحمال الغسيل للغاز العادم.

الكفاءة الحرارية للتحلل الحراري/الحرق معاً تزيد نظرياً عن تلك للحرق المباشر. الطاقة المنطلقة في الاشتعال هي عادة كافية لدفع تفاعلات التحلل بالحرارة، وذلك في حالة عدم إضافة وقود إضافي لتوفير طاقة العملية. الوفرة في الطاقة يتحقق مقارنة بالحرق في أن المخلفات الداخلة لا يتم تسخينها إلى درجة حرارة عالية، وهواء الحرق اللازم تسخينه ومعالجته يكون أقل.

أشكال المفاعل: Reactor Configuration

توجد أنواع مختلفة من المفاعلات المستخدمة للتحلل بالحرارة. الثلاثة أنواع المستخدمة عادة هي مفاعل طبقة التميؤ (Fluidized Bed Reactor)، القائم العمودي أو مفاعل الطبقة المتحركة (Vertical Shaft Or Moving Bed Reactor)، الفرن الدوار (Rotary Kiln). تفاصيل تلك المفاعلات موجودة في أبواب أخرى من هذا الكتاب. تلك المفاعلات الثلاثة تتداول المواد الصلبة من المخلفات مثل المخلفات الصلبة المنزلية، التربة الملوثة، المخلفات الكيماوية الصلبة.

يوجد كذلك مفاعلات من نوع قدر التفاعل ذو المرحلة الواحدة (Batch Autoclave) والتي يمكن تداول المخلفات البرميلة. مفاعلات التحلل بالحرارة يتم تسخينها إما بطريقة غير مباشرة (خلال التوصيل الحراري من وعاء خارجي) أو مباشرة (حيث موافد الوقود داخل الوعاء)، بالإضافة إلى الطرق التقليدية لتوصيل الحرارة إلى التحلل بالحرارة، توجد طرق تسخين جديدة والتي تشمل الميكروويف، الفوق بنفسجية، أشعة أكس، وحمام المعدن المنصهر. كثيراً من تلك التقنيات الجديدة أظهر نجاحاً على المستوي المعمل، ولكن القليل هو الذي نجح خلال عملية التطوير الرائدة (Pilot Stage).

موجز للعمليات: (Summary of Processes)

عمليات التحلل بالحرارة لتدمير المخلفات الخطره هي في مراحل مختلفة من التطوير، ما بين المستوي المعمل إلى الوحدات التجارية بالحجم الكامل. للعديد من تلك العمليات موضع في الجدول التالي، التفاصيل لثلاث من تلك سيتم مناقشتها.

جدول (٣٢/١) عمليات التحلل بالحرارة للمخلفات الخطرة

الحالة	المخلفات المعالجة	درجة الحرارة	نوع المفاعل	العملية /التنظيم
٧ طن/الساعة	تربة ملوثة	٤٥٠-٥٥٠°م	فرن دوار	المائي (Deutsche)
تجاري	مخلفات في برميل	٨٧٠-٥٤٠°م	فرن مرحلة واحدة	Pyro Butch
تجريبي	مخلفات خطره	٣٥٠-٥٠٠°م	فرن دوار	PCS Flash Pyrolysis
تجريبي	مخلفات في برميل	١٧٠٠-١٢٠٠°م	مفاعل بلازما	VPS-2000
تجريبي	مخلفات خطره	٨٠٠-١٦٥٠°م	قدر مرحلي للمخلفات المعدنية	Purox/Russell

١. عملية الفرن الدوار الألمانية (Deutsche Babcock Rotary Kiln Process):

مخطط للعملية موضح في الشكل (٣٢/٢). حيث يستخدم هذا الفرن لمعالجة التربة الملوثة. تتم المعالجة المسبقة للتربة الملوثة وذلك بإزالة الكتل الضخمة ثم طحن الباقي إلى جسيمات بقطر ٥٠ ملليمتر. تم تغذية ذلك إلى الفرن الدوار خلال ناقل حلزوني. الفرن بطول ٢١ متر وقطر ٢,٢ متر تم تسخينه بطريقة غير مباشرة بواسطة محارق الغاز الطبيعي الموجودة حول محور الفرن بطريقة المركز المتحد، درجة حرارة التحلل بالحرارة للفرن استمرت عند ٧٥٠°م، المواد المتطايرة المنتجة في عملية التحلل بالحرارة كانت تحرق في غرفة الاحتراق الثانية التي يتم تغذيتها كذلك بالغاز الطبيعي، كانت درجة الحرارة المستخدمة للاحتراق هي ١٣٠٠°م مع زمن مكوث ٣ ثوان لضمان درجة عالية من التكمير. الغاز العادم من الاحتراق كان يتم تبريده وتمريده خلال مرشح الأكياس (Baghouse). تم إضافة لبن الجير (Lime) إلى فرن التحلل بالحرارة وفوق التيار لمرشح الأكياس للتحكم في انبعاثات هاليد الهيدروجين وثاني أكسيد الكبريت. إختبارات نتائج تدمير مواد الهيدروكربون العضوية عديدة النواة (Polynuclear Aromatic Hydrocarbons) موضحة في الجدول الآتي حيث كانت كفاءة التكمير تزيد عن ٩٩%.

جدول (٣٢/٢) كفاءة التدمير لجهاز الفرن الدوار الألماني:

الملوث	المدخلات ملجرام/كجرام	الفاقد ملجرام/كجرام
Naphthalene	١٠١	١,٧
2-Methyl-Naphthalene	٤٠,٢	٠,٥
1-Methyl-Naphthalene	٩٣,٢	٠,٣
Acenaphthylene	٦٨,٢	٠,١
Flourene	٢٣٨	٠,١
Phenantrene	٦٨٦	٠,٦
Fluoranthene	٦٨٨,٦	١,٣
Pyrene	٣٩٨,٢	٠,٦
Benzoca , Anthracene	١٥٥,٠٠	٠,٢
Chrysene	٢١٤,٠٠	٠,٥
Benzocaj Pyrene	٨٦,٦	٠,٢



شكل (32/2) مخطط لوحدة إزالة الملوثات من التربة بالطريقة الحرارية

٢. طريقة (Pyrobatch): المرحلة الواحدة:

الشكل (٣٢/٣) مخطط مبسط للعملية. فرن الدفعة الواحدة قادر علي معالجة كل براميل المخلفات العضوية (حتى ١٢ لكل دفعة) التي يتم تحميلها أولاً ومباشرة في غرفة التحلل بالحرارة. يتم بعد ذلك إغلاق الغرفة وتسخين المخلفات إما بواسطة التسخين غير المباشر أو خلال الاستخدام المباشر للغازات العادمة الساخنة مباشرة في غرفة التحلل بالحرارة، المنتجات المتطايرة تخرج من غرفة التحلل الحراري وتتقدم نحو ما بعد الموقد، حيث يتم حرقها، والعاث بعد الحرق يمكن معالجته لإزالة الغازات الحامضية والجسيمات. العملية كلها متوافقة مع مراحل الاحتراق بعد الموقد لخفض NOx، بما يجعل العملية جذابة للتخلص من المخلفات عالية النيتروجين. المخلفات

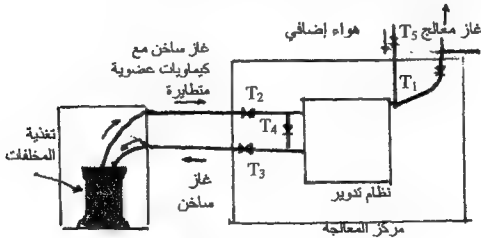
الصلب المتبقية في البراميل يتم إما حرقها بغمر التحلل بالحرارة بالهواء أو إزالتها والتخلص منها. عموماً يمكن معالجة من ٢ إلى ٤ دفعات في اليوم. كفاءة التدمير تزيد عن ٩٩,٩٩% للمخلفات الخطره من الهيدروكربون أو الهيدروكربون المهلجن.



شكل (32/3) صلبة بيروكسيدات لتدمير المخلفات الخطره

٣. نظام التحلل بالحرارة الفائقة: Ultra-Pyralysis Systems-2000

هذا النظام يمثل التقنية المناسبة للتخلص من المخلفات السائلة من براميل التخزين. هذا النظام عبارة عن حلقة مغلقة وهو نظام التحلل بالحرارة بالدفعه الواحدة المتحرك الذي يستخدم مفاعل البلازما (Micro- Arcing) للحصول علي درجة حرارة تدمير مرتفعة حتي ١٧٠٠°م. كما هو موضح في الشكل (٣٢/٣) مواد المخلفات من البرميل يتم تبخيرها وتكويرها باستمرار خلال مفاعل البلازما حتي تمام التحلل الحراري. المعادن من المخلفات والغازات الحامضية المنتجة في عملية التحلل بالحرارة يتم احتجازها في طبقات الامتصاص خلال الدورة الحلقية لنظام التحلل بالحرارة، مع الاكتمال، يتم حرق الغازات المتبقية في درجة حرارة الأكسدة المنخفضة خارج الدورة الحلقية. كفاءة التدمير للمواد الأروماتية والأليفاتية المكثورة تزيد عن ٩٩,٩٩%. وجود الماء له تأثير قليل علي كفاءة التدمير.



شكل (32/4) نظام التحلل الحراري بالدفعه الواحدة (علي دفعات)

الفصل الثالث والثلاثون

المخلفات الخطرة كوقود في العمليات الصناعية



١. المقدمة:

تم بحث واستخدام العمليات الصناعية ذات درجات الحرارة العالية في تدمير وتحلل المخلفات الخطرة. للعمليات التي تم بحثها أولاً كانت الغلايات الصناعة وأفران الأسمنت (Kilns)، التي تم اختيارها أولاً لكونها واسعة الانتشار (Ubiquity) وثانياً لاهتمام كثير من عمال الغلاية والفرن بينوا استعادة القيمة الحرارية للمخلفات. عمليات أخرى، حيث التركيز في هذا الفصل عن مستخدمي المخلفات الخطرة كوقود. وتلك تشمل الأفران الصناعية، الأفران الميثاليرجية، أفران الزجاج كان الجدول الآتي بالإضافة إلي معايير الاحتراق.

جدول (٣٣/١) العمليات الصناعية المرشحة لحرق المخلفات الخطرة

العملية	درجات حرارة العملية		زمن الكوث للغاز بالثانية
	° م	° فهرنهايت	
فرن الجير	١٠٩٣	٢٠٠٠	٨
فرن التكتل Aggragate	١٠٩٣	٢٠٠٠	٢
مجفف الأسفلت	٤٢٧	٨٠٠	٢
فرن الحديد والصلب اللاص	١٨٧٠	٣٤٠٠	١
فرن الطوب النفقي	١٢٠٠	٢٢٠٠	٤
فرن الزجاج	١٢٦٠	٢٣٠٠	٤
فرن النحاس العاكس Reverberatory	١٤٢٦	٢٦٠٠	٢
فرن الرصاص اللاص	١٢٠٠	٢٢٠٠	٦

قابلية التطبيق للعمليات الصناعية:

ليست كل المخلفات الخطرة للقابلة للاحتراق مناسبة للاستخدام كوقود في العمليات الصناعية. أكثر وقود عادم مناسب هو الوقود السائل ذو مقدار طاقة عالي،

محتوي منخفض من الماء، وتركيز منخفض للمعادن. التربة الملوثة والمخلفات غير المأمونة ليست مرشحة، في العديد من المصانع، أني محتوى حراري للمواد المقبولة قدر عند (١٠٠٠٠ وحدة حرارية /الرطل) (10000 Btu/lb) أو (٢,٣٢٦ × ١٠ جول/كيلو جرام) لضمان أنه سيتم فقط استخدام نوعية مواد الوقود. كخط إرشادي عام، فإن الماء القابل للفصل يجب أن يكون محدوداً بنسبة ١% بالحجم، ومحتوي المواد الصلبة يجب أن يكون منخفضاً بما يمنع حدوث الانسداد للمواقد ويسمح بضخ الوقود. عموماً وقود المخلفات خطره يجب أن يحتوي أقل من ٢٠% مواد صلبة ، والتي يجب أن تكون دقيقة بما يمكن من المرور خلال فتحة المنخل ($\frac{1}{8}$ بوصة). تلك الحدود التي قد تتغير من مصنع إلي آخر ومن عملية إلي أخرى تم تحديدها أساساً بسبب قيود للتداول. أقصى لزوجة حوالي (1400 SSU) لضمان أن الوقود يكون قليلاً للضخ عند درجات الحرارة العادية.

المعادن الثقيلة (مثل ، للرصاص، للزرنخ، للكروم، للنكل والكانميوم) يمكن أن تؤثر علي نوعية المنتج أو أن تصبح مركزه في غبار المخلفات، والذي يمكن أن يغير طبيعة انبعاثات الهواء. كذلك فإن وجود معادن ثقيلة معينة في غبار المخلفات قد يسبب كذلك تقييم الغبار كمادة خطره. في حالة حدوث ذلك، فإن المصنع يجب أن يقوم بمعالجة والتخلص من الغبار كمخلفات خطره.

عموماً، أنواع المخلفات الآتية تعتبر غير مرغوبة للحرق في العمليات الصناعية بسبب العوامل القانونية:

Organic Cyanides	* مركبات السيانيدات العضوية
PCB'S	* بلمرات الفينول المكلورة
Insecticides	* المبيدات الحشرية
Pesticides	* مبيد الفطريات
Radioactive Materials	* المواد المشعة

كذلك، عند اعتبار مادة مخلفات فإن توافقية محتويات هذه المادة مع المخلفات الأخرى المقدر استخدامها يجب تأكيده، هذه التوافقية يجب استخلاصها بواسطة

الاختبارات المعملية. كذلك فإن المخلفات يجب أن تتوافق مع أوعية الحفظ والتخزين أى أنه يجب أن لا تعجل التآكل أو التلف.

خزانات الحفظ يجب طلاءها أو تبطينها بواسطة مواد غير مسامية. كذلك يجب أن تتوافق المخلفات مع المعدات الأخرى مثل الطلمبات، المحابس ووصلات المواسير.

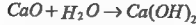
الوصف التقني: Technology Description

أفران الجير: Lime Kilns

الجير هو مصطلح عام للذى يشمل الأشكال المختلفة الكيماوية والطبيعية للجير الحي (Quicklime)، الجير المطفي (Hydrated Lime)، وهما النوعين الذى يتم إنتاجهم. عملية تصنيع الجير تشبه لتلك للاسمنت في أن المادة الخام (عادة الحجر الجيري أو الدولوميت) يتم تكسيره وطحنه إلى الحجم المطلوب، ثم تحميصه (Calcined) في الفرن عند ١٢٠٠°م. رغم أنه يمكن استخدام العديد من أنواع الأفران فإن المستخدم عادة هو الفرن الدوار (Rotary Kiln). أكبر فرن للجير يكون بطول ١٦٤ متر وقطر ٥,٦ متر ويمكنه إنتاج ما يزيد عن ١٢٠٠ طن (١٠٩٠ طن متري) من الجير الحي في اليوم.

يلزم لكل طن طاقة مقدارها (٦,٧ مليون وحدة حرارية - Btu) ما مقداره (٧ × ١٠^٦ جول) لكل طن من الجير المطفي. تكلفة متطلبات الطاقة العالية هذه قد أدت إلى زيادة كفاءة الطاقة في الصناعة واستخدام وقود ذو تكلفة منخفضة وخاصة الفحم، وقود المخلفات الخطرة أمكن استخدامه كوقود معاون وذلك بتغذية وقود المخلفات الخطره في الفرن خلال موقد منفصل قريباً من موقد الوقود الأولي.

الشكل (٣٣/١) يبين مخطط لعملية فرن الجير. التخصيص يفرز تقريباً نصف وزن الحجر الجيري في شكل ثاني أكسيد الكربون (CO₂) ويترك الجير اللين، المسامي، عالي للتفاعلية المعروف بالجير الحي (CaO). للتسخين ما بعد هذه المرحلة يمكن أن ينتج كتل من مادة خاملة شبه مزججة (Semivitrified) وهذا ما يعرف بالحرق للزائد الجير (Dead-Burned)، الذى يستخدم عادة في صناعة المواد المقاومة للحرارة، يتم تغريغ الجير الحي عند الطرف السفلي للفرن في نظام التبريد، حيث يتم التبريد بالهواء، ثم التخزين في سيلونات (Silos). جزء من الجير الحي يتم تميؤه (Hydrated) قبل التخزين. الجير المطفي (Hydrated) يتم إنتاجه بتفاعل الجير الحي مع مياه كافيه لتكوين مسحوق جاف أبيض.

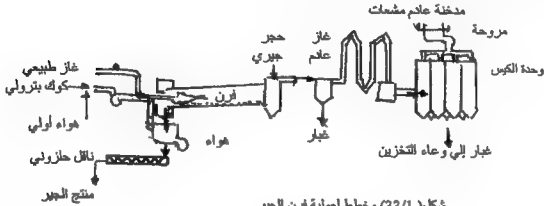


كفاءة الالتفاف والإزالة المقاسة خلال إختبار حرق فرن الجير كان.

مكونات المخلفات الخطره	كفاءة التدمير %
Hethylene Chloride	٩٩,٩٩٩٥-٩٩,٩٩٤٧ %
Methy Ethyl Ketone	٩٩,٩٩٩٧-٩٩,٩٩٩٢
1.1.1-Trichloroethane	٩٩,٩٩٨٢-٩٩,٩٩٥٥
Tetra Chloroethylene	٩٩,٩٩٩٩-٩٩,٩٩٧
Toluene	٩٩,٩٩٨ - ٩٩,٩٩٥

تلك الكفاءة العالية للإزالة تم الحصول عليها خلال الاختبارات ولكن كان هناك

تقلب في CO وضعف خلط للوقود أثناء الحرق.



التغيرات في CO كانت بسبب عدم قدرة الفرن علي الموائمة الدقيقة (Finetune) لخفض تقلبات التشغيل عند الإشعال المشترك (Cofiring) للوقود العادم. كان الوقود العادم يتم حرقه فقط ٨ ساعات في اليوم، بينما ما لا يقل عن ٢٤ ساعة من العمل كانت مطلوبة لعمل الضبط المناسب، التغيرات الكبيرة في CO كانت ليست بسبب حرق وقود المخلفات فقط ولكن بسبب الامداد للرطب للوقود الأولي (كوك البترول)، والذي نستج عنه كتل الكوك التي يتم تغذيتها في الفرن، ولذلك، لزيادة حالات الوقود، وإلي التغيرات في معدل تغذية الوقود، تغذية وقود العادم ونظام الموقد (ماسورة الوقود الموضوع علي قمة الموقد الرئيسي) لا تسمح بالخلط المناسب للوقود. عند المعدلات المنخفضة للتغذية بمخلفات الوقود ، هذا كان السبب في هبوب اللهب (Puffing of The Flame).

أفران الركام: (Aggregate Kilns)

الركام خفيف الوزن يشمل للعديد من المواد التي توفر مكونات المنتج الخرساني. بعضها يوجد طبيعياً (مثل، حجر الخفاف البركاني (Pumice)، الرماد البركاني (Volcanic Cinders)، بعضها منتج ثانوي (مثل الخبث والرماد)، بينما الآخر يمكن تصنيعه بتسخين الطفلة القابلة للتمدد، والطفل أو الطين الصفحي (Shale)، أو صخر الأردواز الرمادي (Slate) في فرن دوار إلى درجات حرارة حوالي ١٢٠٠°م (٢٠٠٠° فهرنهايت). في معظم الحالات يكون مصنع الركام خفيف الوزن مكوناً من مساحة لإعداد المادة الخام، الفرن، المبرد، ومساحة تخزين المنتج.

معايير العمل للفرن مثل درجة حرارة للهب، الهواء الزائد، حجم حبيبات التغذية، تدفق المادة وسرعة الدوارن تتغير من مصنع إلى آخر وتتحدد بالخواص العامة للمادة الخام، بما فيها المحتوي من الرطوبة. تقريباً من ٨٠-١٠٠ % هواء زائد يتم دفعة في الفرن للمساعدة في تمدد المادة الخام. تصميم النظام المناسب للموقد ربما يكون هو أهم العوامل في فرن الركام الدوار. المحافظة على العلاقة الصحيحة بين زمن المكوث للشحنة ودرجة الحرارة على طول محور الفرن يكون أساسياً للحصول على نوعية المنتج المطلوبة. نظام وقود المخلفات الخطره لفرن الركام الخفيف يجب أن يكون مشابها لفرن الأسمنت والجير (أي موقد ترزيز وقود المخلفات الخطره على طول موقد الوقود الأولي).

نتائج الاختبارات للمكونات العضوية الرئيسية من فرنين للركام بحرق وقود المخلفات الخطره موضح في الجدول التالي:

جدول (٣٣/٣) نتائج اختبار المكونات العضوية الرئيسية من اثنين من أفران الركام بحرق وقود المخلفات الخطره.

الموقع	مكون المخلفات العضوية	نسبة التدمير والإزالة %
(أ)	Methyl-Chloride	9.998-99.99
	1.2-Dichloro Ethane	99.99-99.91
	1.1.1- Trichloro Ethane	99.9999-99.9998
	Carbon Tetra Chloride	9.999-99.8
	Trichlore Ethylene	99.996-99.993
	Benzene	99.993-99.75
	Tetra Chloroethylene	99.97-99.92
	Chloro Benzene	99.999-99.996

99.9998-99.996	Methyl Ethyl Ketone	
99.9998-99.9991	Freon 11.3	
99.999-99.992	Methyl Ethyl Ketone	
99.999-99.998	Toluene	(ب)

محطات الأسفلت: (Asphalt Plants)

حرق مخلفات للزيت والمخلفات الخطره في محطة مجفف الأسفلت (Asphalt Plant Dryer) مفيد اقتصادياً لصناع الأسفلت نظراً لأنه مصدر وقود رخيص. المدخن تكون عموماً قصيرة وعادة يتم إقامة الوحدات في أماكن قريبة من السكان والتي تجعلها ذات تأثير بيئي خاصة عند زيت المخلفات أو المخلفات الخطره. يوجد نوعان أساسيان من التصميم:

١. محطات الخلط علي دفعات: Batch-Mix Plants

خطوات التسخين والمصافي، الإنتاج تكون منفصلة. أحد الشحنات يتم خلطها في وقت ما، المجفف الدوار يبدأ ويتوقف كثيراً من الأوقات خلال اليوم.

٢. محطات الخلط البرميلية: (Drum-Mix Plants)

يتم أولاً الفرز الحجمي للركام، ثم جمع خطوات التسخين والخلط. المحطة عادة تعمل باستمرار لمدة أطول مقارنة بالخلط علي دفعات، معظم محطات الأسفلت الجديدة هي من أنواع الخلط البرميلي.

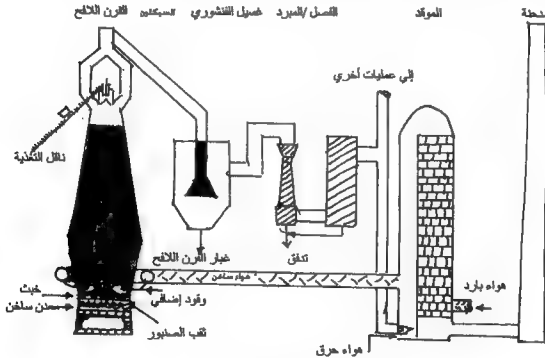
الشكل (٣٣/٢) مخطط لمحطة الخلط علي دفعات. المجففات الدوارة تصمم للتسخين السريع للصخر ودفع معظم الرطوبة السطحية والمسامية التي يمكن أن تتدخل مع الرباط الجيد مع الأسمنت الأسفلتي (Asphaltic Cement) اللوقود الذي يتم حرقه (غاز، زيت، مخلفات الزيت) في الموقد يتحول إلي حرارة وغازات عادمة. خارج اللهب الحقيقي، تلتصق الغازات مع الحجر البارد حيث تنخفض درجة حرارتها سريعاً إلي حوالي ١٧٧°م (٣٥٠°فهرنهايت) أو أقل. الشكل العام المطلوب للهب أن يكون قصيراً ومتسعاً ولكن بدون تصادم مع أجناب المجفف.

إحتراق وقود المخلفات الخطرة في محطات تجفيف الأسفلت يمكن اعتباره عمل عادي ولذا يبدو أنه ليس له تأثير ضار علي قدرات المحطة، ومواد الانشاء، أو المعايير الأخرى للمحطة. اختبار الانبعاثات علي محطات الأسفلت أظهرت أن كلا نوعي المحطات وهما النوع للمرحلي ونوع الخلط البرميلي قادرين علي تطبيق معايير

حرق المخلفات الخطره، لانبعاثات الجسيمات (اقل من ٨٠ ملجرام/م^٣) عند ٧%
أوكسجين، الانبعاثات كلوريد الهيدروجين (اقل من ٤ رطل/الساعة) . نتائج الاختبارات
أظهرت كذلك أن محطة خلط الأسفلت البرميالية يمكنها أن تحقق تدمير بنسبة ٩٩,٩٩%
لمكونات المخلفات العضوية الخطره ولكن غير مؤكدة حول هذه النسبة لمحطات
الدفعات.

الأفران لللافحة يتم حقن بعض من أنواع الوقود خلال ممرات نقل الهواء لخفض استهلاك الكوك وزيادة الإنتاجية، الزيوت المستخدمة لهذا الغرض تشمل الزيت، القار، القطران أو الزفت (Pitch)، للغاز الطبيعي، غاز فرن الكوك، الفحم المطحون، أو مجموع من هؤلاء. يمكن استخدام وقود المخلفات الخطره وحرقه عند هذا المكان.

تم اختبار فرن لافح بطاقة ٤٠٠٠ طن في اليوم عند حرق الزيت العادم كوقود إضافي. حرق وقود المخلفات الخطره لم يؤثر علي عمق الفرن وبالنسبة لمعظم المكونات العضوية في وقود المخلفات الخطره (التولوين O-Xylene) وجد أن العملية حققت نسبة كفاءة تكمير وإزالة تزيد عن ٩٩.٩٩.



شكل (33/3) عملية التفتق في الفرن اللافح

فرن الطوب النفقي : (Brick Tunnel Kilns)

الأفران النفقية هي المستخدمة غالباً في معظم مصانع إنتاج الطوب والافخار (Tile). يتم تحميل المنتج علي عربة مستوية التي تدخل أحد نهايات الفرن النفقي المبطن بالحراريات. مع تقدم العربة عبر طول الفرن، فإنها تمر خلال مناطق حيث الزيادة في درجات الحرارة. في معظم الحالات، يكون للفرن مجموعتين من المواقد، مواقد إشعال الوقود الرئيسية (الطوية) تكون موضوعة علي طول المقطع الأوسط للفرن وتوفر معظم الحرارة اللازمة للحرق. المحارق الثانوية (أو السفلية) تكون

موضوعة علي طول الفرن ما بين منطقة للتسخين المسبق ومناطق الحرق (Firing)، الهواء يمر خلال الفرن في عكس اتجاه حركة المنتجات (الطوب) يستمر العمل، ومتوسط إنتاج الفرن النفقي هو ١٠٠٠٠٠ طوبة في اليوم. الأبعاد الداخلية للفرن النموذجي هي ٩٨ متر (٣٢١ قدم) بالنسبة للطول والعرض ٣,٤ متر (١١,٢ قدم) والارتفاع ١,٥ متر (٤,٩ قدم). تاريخياً الأفران. يتم إشعالها بالغاز الطبيعي.

الأفران النفقية الجديدة يتم تصميمها لقبول أكثر من نوع واحد من الوقود، مثل نشارة الخشب و/أو الزيت، هذه الأفران النفقية الجديدة ذات كفاءة وقود عالية حيث تستهلك في المتوسط ١٢٠٠ وحدة حرارية/الرطل. وقود المخلفات الخطره يمكن استخدامه لاستبدال للوقود الموجود في أفران الطوب النفقية هذه. نوعية وقود المخلفات الخطره يجب إحكامه بحرص لأن التغيرات في جو الفرن الناتج من حرق المخلفات العضوية يمكن أن يغير لون الطوب، اللون الطوبي يكون مصاحباً للطوب المستخدم في الإنشاءات. السكنية والذي يأتي من مخلفات الحديد. أفران الطوب النفقية أكثر عرضة للبري والصدمة الحراري أكثر من أفران الأسمنت والجير وذلك لأنه لا يوجد تغطية حبيبات علي السطح الحراري أثناء العمل. إضافة وقود المخلفات الخطره المسبب للبري يمكن عندئذ يزيد من البلي الطبيعي والتلف للحراريات.

حرق المخلفات المعدية

Infectious Waste Incineration

34

١. خواص المخلفات والقابلية للحرق:

المخلفات المعدية يعني بها تلك المخلفات من المنشآت الصحية أو ما يماثلها التي تتعامل مع المرضى وبذا يمكن أن تحتوي علي كائنات مسببة للأمراض، ولكن يمكن كذلك أن تحتوي علي مخلفات بيولوجية وممرضة، أي مخلفات يشك في كونها مسببة لإنتاج كائنات ممرضة يتم تصنيفها كمعدية عند مصدر إنتاجها. معظم تلك المخلفات ينتج خلال المصحات ودور العلاج ولها أعلى محتوى من المواد العضوية. تلك هي المخلفات التي تكون الأساس لتصميم الحرق الجيد والتي سيتم تصنيفها فيما بعد. لقد أظهرت الدراسات السابقة أن المخلفات العامة غير الملوثة يمكن أن تشكل حتي ٨٥% من إجمالي المخلفات المنتجة في دور العلاج. مخلفات المستشفيات عادة تكون غير متجانسة، حيث تختلف المكونات من يوم إلي آخر من ساعة إلي أخرى. أي تقنية مستخدمة لمعالجة مثل تلك المخلفات يجب أن يتم تصميمها لاحتواء مثل تلك التغيرات في مكونات المخلفات.

أهم خاصية للمخلفات يجب أخذها في الاعتبار عند تقرير نظام الحرق هي القيمة الحرارية (كمية الطاقة الذي سوف تتطلق من وحدة كتلة المخلفات علي أكسنتها حرارياً) والمعدل الذي سوف يتم به حرق المخلفات. حيث أن كلا من الكربون والهيدروجين الموجودان في المركبات العضوية هما اللذان يقرران القيمة الحرارية ونظراً لأن تلك مع كمية المؤكسد المستخدم في غرفة الحرق سوف تحدد حجم ودرجة حرارة غازات الاحتراق المنتجة، فإنه يكون من الضروري توفير بعض المعلومات الأساسية علي مختلف المكونات التي تكون الحاوية للنموذجية للمخلفات المعدية، بسبب الطبيعة غير المتجانسة لتلك المخلفات، فإنه يكون المفضل للتدبر عند تقدير خواص تلك المخلفات ذات التأثير علي تصميم نظام للحرق. كان صناع المحارق في سبعينات القرن الماضي حتي الثمانينيات يستخدمون قيمة حرارية عالية للمخلفات المعدية حوالي ٤٧٢٢ كيلو كالوري/كجرام (٨٥٠٠ وحدة حرارية /الرطل). القيمة الحرارية العالية أو الكلية هي للكمية الكلية للحرارة التي تتطلق من الاحتراق وحدة للكم من المادة العضوية وكمية المكافئ الحراري لها من الهواء المقاس عند ١٥ °م (٦٠ °فهرنهايت)، والتي تتضمن الطاقة من تكثف الماء للمكون من حرق الوقود خلال المخلفات.

وهذا عادة يعطى بالكيلو كالوري/ كيلوجرام (لو الوحدة الحرارية / رطل).

الكثير من المستخدمين وجدوا بفرع أن مثل تلك المحارق سوف لا تملك كمية المخلفات التي صممت لها المحرقة، نسبة كبيرة من مخلفات البلاستيك وجدت طريقها نحو المحرقة، بما ينتج عنه زيادة في محتوى الطاقة للمخلفات مقارنة بما سبق. طبقاً للدراسات التي قامت بها منظمة (Radian) برعاية وكالة حماية البيئة (EPA) مع إهمال جهود التدوير المدنية، فلقد وجد أن المخلفات النموذجية للمستشفيات أنها تحتوي ٤٠% منتجات ورق مخلوط، ٢٠% ورق مقوي، ٥% مخلفات أرضية مخلوط، ٥% نظافة وكس الأرضية، ٣٠% بلاستيك. هذه الدراسة مع معلومات من مصادر أخرى نتج عنها التحاليل الآتية التي توفر أساساً مقبولا لتقدير حجم المحرقة لحرق المخلفات المعدية.

المكون	النسبة بالوزن%
كربون	٥١,١
هيدروجين	٦,٢٣
أكسجين	٢١,٣١
نيتروجين	٠,٤٥
كبريت	٠,١٧
كلور	٤,١٢
رطوبة	٩,٠٠
رماد	٧,٦٢
إجمالي	١٠٠

القيمة الحرارية العالية لهذه المخلفات، التي اشتق منها هذا التحليل هي ٥١٣٣ كيلو كالوري/كجم (٩٢٤٠ وحدة حرارية/الرطل) علي أساس حالة التغذية، أو ٥٤٦١ كيلو كالوري/كجم (١٠,١٥٣ وحدة حرارية/الرطل) علي أساس الجفاف.

في عملية الحرق، يتم تبخير الرطوبة قبل الحرق للمحتوي من المواد العضوية (الكربون والهيدروجين) ولذلك فإنها القيمة العالية علي أساس الجفاف مرتبطة مع كمية الهواء (المؤكسد) المستخدم التي تحدد درجة حرارة اللهب بدون تبادل (Adiabatic) الحرارة للكتلة المحترقة. في حالة عدم التحكم فإن درجة الحرارة سوف تزيد عن درجة حرارة انصهار المخلفات من الزجاج والأملاح التي تكون أحياناً موجودة، والتي تسبب تكون الخبث في غرفة الحرق. هذا الخبث سوف يكون له تأثير سلبي علي المواد الحرارية، حيث يحدث انحداد لفتحات الهواء في المجرى الثابتة للمحارق،

وتتبع الحركة الحرة للرماد في الأفران الدوارة، وتلتصق مع المواد العضوية التي لم تحترق ويصعب من عملية إزالة الرماد.

المعدل الذي سوف تحترق به تلك المخلفات يعتمد علي كمية المؤكسد الموجود وكذلك علي خواص المخلفات. عموماً، المخلفات ذات الكمية الكبيرة من المساحة السطحية المعرضة للمؤكسد بالإضافة إلي امتلاكها أكبر كربون وهيدروجين في بنائهم الجزيئي سوف تحترق الأكثر غزارة. معظم البلاستيك يقع تحت هذا التقسيم، وفي حالة عدم تصميم المحرقة لاحتواء حالة الاحتراق السريع هذه، فإنه سوف ينتج حمل جسيمات زائد وكذلك أو أكسيد كربون.

٢. فوائد الحرق:

الحرق يجب أن يستخدم للتخلص من بعض مخلفات المستشفيات. الكميات المتبقية من أدوية المعالجة الكيميائية وعينات علوم الأمراض المحتوية علي آثار من الفورمالدهايد كمثال، لا يمكن جعلها غير خطره بأى تعقيم بالبخار أو الميكروويف، أو عملية التطهير المعروفة حالياً. حرق تلك المواد خاصة أخرى من المستشفيات مازال مناسباً وضرورياً. بالإضافة إلي الفورمالدهايد فقد قامت وكالة حماية البيئة (EPA) بتصنيف عدد من المذيبات المعملية كمركبات خطره. تلك المذيبات يتم خلطها جيداً مع المخلفات الطبية. تقنيات الميكروويف والقنود (Autoclave) يمكنها تبخير تلك المركبات، منتجة سميات الهواء التي تتطلب أكسدة حرارية لتدميرها. وتلك موضحة في الجدول التالي.

جدول (١) المذيبات الخطره الموجودة في المخلفات الطبية

Hexane	Diethy Ether	Acetone
Methyl Alcohol	Ethylacetate	2-Butanol
Methyl Cell Osolve	Ethyl Alcohol	Butyl Alcohol
Pentane	Heptane	Cyclohexane
Tetrahydrofuran	Sec-butyl Alcohol	Petroleum Ether
Xylene	Tetr-Butyl Alcohol	2-Propanol

نظم الحرق جيدة للتصميم والصيانة والتشغيل تحقق الفوائد الآتية بمقارنة بكل وسائل التخلص من المخلفات المعدية الأخرى.

- خفض في الحجم بنسبة ٩٠ إلى ٩٥% طبقاً للمحتوي من المواد الخاملة والرماد.
- التدمير الكامل للكائنات المسببة للأمراض ومستحضرات المعالجة الكيميائية.
- كفاءة للتدمير والإزالة بنسبة ٩٩,٩٩ لكل المكونات من المخلفات العضوية الخطره.
- خفض في الكتلة بحوالي ٩٠% (مع الإزالة الأولية للزجاجات والصفائح).

- المواد غير العضوية، شاملة المعدن والرطوبة، متوافقة وملئمة إلى حد كبير مقارنة بمعظم التقنيات الأخرى.
- إستعادة الحرارة في شكل ماء ساخن أو بخار التي يتم توفيره طبقاً للمكافئ، بمقداره ٧٠ جالون تقريباً من زيت التدفئة لكل طن من حرق المخلفات.
- المعالجة المسبقة أو الحل بالنقع (Maceration) للمخلفات غير مطلوب.

عموماً، الحرق هو الطريقة الآمنة الممكنة والمؤثرة للتخلص من معظم أنواع المخلفات الخطرة العضوية الحرق هو طريقة التخلص المفضلة للعديد من المخلفات بما فيها المخلفات المعدنية، لأنه يفكك ويكسر جزيئات الكربون-الهيدروجين المعقدة والتي هي أساس بناء المادة العضوية ويحولها إلى ثاني أكسيد الكربون وبخار ماء. هذا يوفر حل مستديم للتخلص الآمن من المخلفات ولكن ضوابط حماية الهواء من التلوث الناتج عن انبعاثات الحرق، حيث تم التأكيد على أن تتم عملية الحرق الأولية (الغرفة الأولية) عند درجة حرارة لا تقل عن ٩٨٢° (١٨٠٠° فهرنهايت) وغرفة الحرق الثانية (التي تعمل على إكمال تدمير المواد العضوية المتطايرة) عندما لا يقل عن ١٠٩٣°م (٢٠٠٠° فهرنهايت)، أو الحد في انبعاث المدخنة من الدايوكسين والفورين (Dioxin/Furan) عند مستوي مبني على عوامل الوزن لمختلف المواد المثيلة التي ليس لها دليل نحو سمييتها للإنسان.

من بين تلك المعايير الموضحة في الجدول التالي، حدود الانبعاث للجسيمات، أولي أكسيد الكربون (CO)، كلوريد الهيدروجين (HCl)، ثاني أكسيد الكبريت (SO₂)، أكاسيد النيتروجين (NOx)، للرصاص، الكاديوم، والزنك وكذلك (Dibenzofuran, Dioxin).

جدول (٣٤/١) موجز لحدود الانبعاث لمخارق المخلفات الطبية الجديدة والقديمة

الملوث	حدود الانبعاث (تصحيح ٧٪ أكسجين) أساس جاف
مادة الجسيمات	٣٠ ملجرام/القدم المكعب الجاف في الدقيقة
العتامة Opacity	٥٪، متوسط ٦- دقيقة
أول أكسيد الكربون CO	٥٠ جزء في المليون-١٢ ساعة متوسط
Furan Dioxin	٨٠ نانوجرام/القدم المكعب في الدقيقة
HCl	٤٢ جزء في المليون - متوسط ٩ ساعات أو خفض ٩٦٪
أكاسيد النيتروجين (NOx)	٢١٠ جزء في المليون- متوسط ١٢ ساعة أو خفض ٨٥٪
الرصاص (Pb)	٠,١ ملجرام/القدم المكعب في الدقيقة
الكاديوم (Cd)	٠,٠٠٥ ملجرام/القدم المكعب- متوسط ١٢ ساعة
الزنك (Zn)	٠,٤٧ ملجرام/القدم المكعب- متوسط ١٢ ساعة أو خفض ٨٥٪

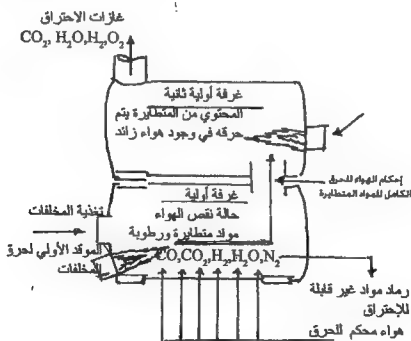
٣. تكنولوجيا الحرق: Incineration Technology

يوجد فقط عدد محدود من أنواع المحارق المستخدمة خلال سنين لتدمير المخلفات المعدنية، سيتم تناول خواص بعض منها، من بين تلك فإن أهم نوعين من التصميمات هما المجرمة الثابتة/الهواء (Air/ Fixed Hearth) والفرن الدوار (Rotary Kiln).

(Controlled Air/Fixed Hearth) المجرمة الثابتة/ الهواء المحكم

محارق المجرمة الثابتة / الهواء المحكم تمثل ٨٥ % تقريباً من بين نظم المحارق المستخدمة في تدمير المخلفات المعدنية، حيث النسبة الأكبر تم إقامتها في المستشفيات. هذا يعود إلي انخفاض تكلفة طاقة التصميم في طاقة من ١٠-١ طن في اليوم لمعظم المستشفيات.

هذه المحارق ذات الهواء المحكم تتكون من غرفتين منفصلتين مبطنتين بالحراريات، حيث الأولى تعمل بطريقة نون النكافية (Substoichiometric) والثانية بالهواء الزائد بهدف حرق المواد العضوية المتطايرة من المرحلة الأولى الشكل (٣٤/١).



شكل (34/1) مبدأ الحرق بالهواء المحكم

وقد يضاف غرفة حرق ثالثة ما بين الأولى فقيرة الهواء والثانية لتوفير الحرق التالي للكربون المتحد. تستخدم كمية زائدة من الهواء في هذا المقطع الثالث. تلك

الغرف يتم عادة تنظيمها حيث الغرفة الثانية فوق الأولى وهذا مناسب بالنسبة لاستخدام المساحات وليس لأسباب استخدام. تقريباً ٥٠% من الهواء النظري المطلوب لحرق المواد العضوية يتم إدخاله نحو الغرفة الأولى، عادة بواسطة فتحات ضيقة (Nozzles) موضوعة استراتيجياً إما خلال الحوائط الجانبية في حالة تصميم المجرمة الحرارية أو في تنظيم تحت اللهب في حالة التصميم من نوع المصبغة (Grate). في التصميمات السابقة فتحات الهواء الضيقة تحت اللهب نتج عنها نقاط ساخنة محلية، والتي سببت رواسب خبث من الزجاج والأملاح الموجودة في مخلفات المنشآت الصحية وبالتالي، أحدثت انسداداً في تلك الفتحات الضيقة. استخدام البخار مع الهواء تحت اللهب أحدث خفضاً كبيراً في تكوين الخبث كما ساعد في حرق الكربون بعض التصميمات الجديدة، تشغيل الغرفة الأولى عند أقل من حالات النكافؤ لا يقلل من حجم الحجرة المطلوب وكذلك التكلفة، وينتج عنه خفض الحمل للجسيمات. في طريقة العمل بدون النكافؤية، يتم حرق جزء من الغازات للعادمة التي تشمل أول أكسيد الكربون والهيدروجين وذلك في غرفة الحرق الثانية خلال استخدام هواء إضافي بكمية كافية لينتج عنه ما لا يقل عن ٦% (علي أساس الحجم الجاف) من الأكسجين خارج المدخنة. نتيجة طريقة العمل هذه هي أنه عادة لا يكون مطلوب وقود إضافي. السلبية هي أنه يمكن أن يكون حرق الكربون ضعيفاً، ومحاولات تخفيف ذلك بإضافة الهواء قريباً من نهاية الصرف للغرفة الأولى لم تحقق النجاح دائماً.

في معظم الحالات يلزم استمرار درجة الحرارة عندما لا يقل عن ٩٨٢°م (١٨٠٠°فهرنهايت) في غرفة الحرق الثانية، مع الحجم الكافي لضمان ما لا يقل عن زمن مكوث للغاز عن ٢ ثانية. عادة، هذا ليس مشكلة نظراً لوجود فتحة وقود كافية من المواد العضوية غير المحروقة من تشغيل الغرفة الأولى عند دون النكافؤ لزيادة درجة الحرارة هذه. عادة يتم إحكام درجة حرارة الغرفة الأولى عند ١٢٠٠-١٤٠٠°م فهرنهايت (٦٤٩ - ٧٦٠°م) بكمية الهواء من الفتحات الضيقة الداخل إلى الغرفة. زيادة الهواء سترفع درجة الحرارة وخفضه سوف يقلل منها.

العمل على دفعات (Batch Operation) يمكن أن يجنب معظم المشاكل المصاحبة للاحتراق دون النكافؤ، ولكن يتطلب زمن حرق طويل للكربون المتحد تحت جزء الهواء الزائد للدورة، يليه تبريد وفترة نظافة. تصميم العمل على دفعات يستخدم في المنشآت الصحية الصغيرة حيث كميات المخلفات صغيرة والتكلفة تكون قليلة.

الانواع ذات المجرمة المتحركة أو المصبغة:

Grate and Staged Hearth Types

أنواع المحرقة من نوع المصبغة الحديثة تستخدم المجرمة للمتحركة أو المصبغة التي توفر الفرصة لدخول الهواء نحو المخلفات وتحريك الرماد نحو نقطة جمع وإزالة مع الصرف والتخلص المستمر. المحارق من نوع المصبغة تشمل النبض (Pulse)،

والمتأرجح (Reciprocating)، والتحرك (Travelling)، حيث التسمية طبقاً لتحرك المادة من طرف الشحن إلى نهاية الصريف. مجمرة النبض (The pulse Hearth) والمصبعة المتأرجحة ولكن توقف استخدامها بسبب التكلفة العالية.

المصبعات المتأرجحة تحمل مادة المخلفات وتغير الموضع لتحريك المخلفات خلال الغرفة بكفاءة. الهواء يتدفق إلى أعلا خلال المصبعات للحرق ويسقط الرماد خلال المصبعات إلى حفرة جمع الرماد.

مجمرة النبض (Pulse Hearth) هي أرضية معدنية مبطنة بالحراريات ومعلقة ذات فتحات لدخول هواء الاحتراق. المجمرة تهتز أو تتبض مثل الناقل المتذبذب بطي الحركة (Slow Speed Vibrating Conveyor) الذي يحرك المخلفات خلال الفرن في العملية. تلك المحارق تتكون عادة من غرفتين أو ثلاثة. التشغيل يكون قريباً من المكافئ أو عند مستوي هواء زائد قليلاً في الغرفة الأولى، مع إدخال هواء زائد إضافي في غرفة الاحتراق الثانية.

وحدة مجمرة النبض (Pulse Hearth) الحديثة سوف توفر تحسن في الإشغال والاحتراق مقارنة بالتصميمات القديمة ولكن بتكلفة أعلا. تصميم مجمرة المصبعة أو النبض يتطلب درجة عالية من الصيانة بسبب البري للمصبعة والاحتراق مقارنة بتصميم الهواء البسيط المحكم. كذلك، زمن المكوث للرماد يصعب التحكم فيه، بما ينتج عنه كربون غير محترق في الرماد، حتي في حالة الحرق في ظروف الهواء الزائد. تصميم المجرمة المرحلية (Staged Hearth) تم استخدامه في محاولة لتحسين إتقاد حرق المخلفات، ولكنها أكثر تكلفة عن محرقه الهواء محكم القياسية، ضعف الأداء السائد للمكبس يزيد من متطلبات الصيانة.

المحارق ذات المصبعة لم يتم استخدامها علي نطاق واسع للمخلفات الطبية السائلة ليس بسبب التكلفة العالية ولكن لعدم القدرة علي احتواء المخلفات السائلة، المشاكل الميكانيكية المصاحبة لتصميم المجرمة المرحلية مع المكابس المزدوجة لنقل الرماد قد ساعدت كذلك علي الاستخدام المحدود لتلك المحارق.

الفرن الدوار: Rotary Kiln

الفرن الدوار يشمل غرفة أسطوانية مبطنة بالحراريات والتي تدور حول محورها الأفقي، طوقين من الصلب المقسي مرتكزين علي مرتكزات الدوران (Trunnions)، حيث من بينها اثنان يعملان لتوفير الدوران. لتلك التصميمات لاحتواء حوالي ٢٥ طن/اليوم أو أكثر، فإن الدفع يكون موجبا، إما بواسطة سلسلة محيطية أو آلية التروس، في أي من التصميمات فإن الدفع يكون متغير السرعة ويوفر معدل دوران تقليدي من ٠,٢ إلى ١,٥ لفة في الدقيقة.

زمن المكوث المقدر للرماد هو بدلالة سرعة الدوران (N) لفة في الدقيقتين والميل (S) قدم/القدم، طول الفرن (L) قدم، والقطر الحراري الداخلي للفرن (D) بالقدم. هذا طبقاً للعلاقة التالية:

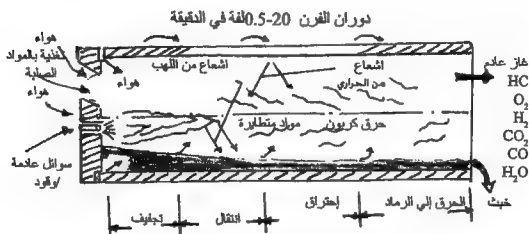
$$T = \frac{0.19L}{NDS}$$

حيث T = الزمن بالدقيقة.

الفرن الدوار، إلا إذا تم استخدام اللحم الخاص للفرن عند كلا النهايتين، ويكون ملازماً لمعدة هواء الاحتراق الزائد، التي تعمل عند من ٨٠% إلى ١٥٠% من متطلبات الهوائي المتكافئ، عند الاستخدام لحرق المخلفات المعدية، فإن كلا من غازات الاحتراق والمخلفات يتم تصميمهم للتحرك من نفس الاتجاه خلال الفرن والذي يعرف بنظام (Co Current). كما هو الحال في المحارق التقليدية، فإن النظم يعمل عند ضغط سالب قليلاً، بما ينح من انطلاق الانبعاثات الشاردة وغازات الاحتراق نحو البيئة المحيطة. لتجنب دخول الهواء الجوي في جزء للنظام تحت التيار، فإنه يتم تصميم لحام نهاية الصرّف بعناية خاصة في أنه يتم ضغط قطع من غلاف الجرافيت مقابل غرف الفرن بواسطة قطع لولبية مرنة. الأفران الصغيرة يكون لديها لحام ميكانيكي يمكن ضبطه عند طرف التغذية لتوفير الفتحة لسحب هواء الاحتراق إلى الفرن نسبة إلى الضغط السالب الذي يتم لحداثه بواسطة مروحة سحب التيار (Induced Draft Fan) تيار الفرن يتم استمراره ألياً بواسطة تجهيزه بإخماد لمحرك مروحة للدخول أو بواسطة محرك تشغيل متغير السرعة علي مروحة دخول الهواء. في حالة الأفران الكبيرة أو حيثما يكون المطلوب حالة الاحتراق المتكافئ، فإنه يتم استخدام للحامات المحكمة علي كلا النهايتين واستخدام مروحة هواء الحرق الخاصة لإدخال الهواء إلى الفرن. أحد الطرق لإحكام تدفق هواء الاحتراق إلى الفرن الدوار الذي يعمل بالهواء الزائد هي خلال استخدام جهاز تحليل الأكسجين المثبت في نهاية الصرّف. التشغيل بهذه الطريقة، فإن كمية هواء الاحتراق يمكن تغييرها طبقاً لمرّعة احتراق المواد والتي بخلاف ذلك سوف تقلل الأكسجين حيث ينتج مستويات عالية من أول أكسيد الكربون. العمل بأسلوب التكافؤ، يمكن استخدام محلل الاحتراق أو تغير درجة الحرارة كإشارة لضبط كمية هواء الاحتراق، مع الأخذ في الاعتبار حقيقة أن زيادة الهواء سوف تسبب إرتفاع في درجة الحرارة عند العمل بنظام التكافؤ.

الفرن الدوار يوفر للتغذية الآلية للمخلفات وتصريف الرماد. معدة حقن المخلفات المعدية في الفرن تشمل تجهيزات المكبس الهيدروليكي، البريمة، آلة التقطيع (Shredder)، القناة أو الأنبوب المائل (Chutes)، نظراً لأن للمخلفات تعتبر معدية فإن المفضل هو تغذية المخلفات في كل المحرقة، التقليدي، تكون للمخلفات في حقائب من البلاستيك أو صناديق من ورق الكرتون. الفرن الدوار هو النوع الذي يعتمد عليه من

المحارق بالنسبة لمختلف المخلفات التي يمكن حرقها- المخلفات الحاملة للأمراض، مخلفات المطابخ، والمخلفات الأخرى-الصلبة. النقل المستمر وأداء الحركة للغرفة الأسطوانية الدوارة ينتج عنه احتراق عالي للمواد العضوية مع استمرار تعرض المادة الجديدة لمصدر الإشعاع الحراري والمؤكسد الشكل (٣٤/٢) يوضح مراحل عملية الاحتراق خلال طول الفرن.



شكل (34/2) مجالات الاحتراق خلال الفرن الدوار

زيادة استمرار عملية التغذية تعني زيادة استقرار حالة عملية الحرق، بما يساعد في تجنب انبعاثات أول أكسيد الكربون، الجسيمات، والهيدروكربونات غير المحترقة والتي هي من خواص المحارق ذات الدفعة الواحدة أو طرق الإمداد بالمادة والحرق، محرق للفرن الدوار ذات التصميم الجيد تنتج ما لا يقل عن ٥% كربون غير محترق في رماد اللقاع المتبقي وتحتوي على مواد عضوية غير معلومة. كما في حالة أي محرقة لحرق مخلفات معدنية غير متجانسة، فإنه يمكن إنتاج الخبث إلا في حالة الإحكام الجيد لعملية الحرق في واحدة من الطرق الأربع الأولية:

١. المحافظة على مستوي هواء زائد لاستمرار درجة حرارة غاز الاحتراق دون تلك لتكوين الخبث، والذي يتراوح ما بين ١٣٠ إلى ١٥٠% من متطلبات هواء التكافؤ.
٢. المحافظة على أقل من نسبة التكافؤ حيث درجة حرارة غاز الاحتراق تكون أقل من تلك لتكوين الخبث حيث احتراق للكربون ليس هاماً، مع الأخذ في الاعتبار أن الكربون غير المحترق في الرماد من عدم لحكام هواء الحرق يمكن أن يكون مرتفعاً حتى ٤٠%.
٣. بعد درجة حرارة الانصهار أو اللبونة للزجاج والأملاح لتكوين الاصهوري (Eutectic) ذو نقطة انصهار أعلا خلال استخدام إضافات مثل الحجر الجيري و/أو الألومينا.

٤. إضافة بخار أو رشاش الماء في غرفة الاحتراق لامتصاص الحرارة ينتج تفاعل الغاز - الماء ، مكوناً H_2O والذي سوف يقلل من استخدام الوقود الإضافي في غرفة الاحتراق للثانية.

غازات الاحتراق ، المكونة من الهيدروكربونات المتطايرة ، الأكسجين ، النيتروجين ، ثاني أكسيد الكربون ، أول أكسيد الكربون ، وبخار الماء ، مع جسيمات خاملة يتم سحبها إلى غرفة الحرق للثانية حيث يتم التحكم في درجة الحرارة بواسطة حقن هواء إضافي و/أو وقود إضافي عند ٩٨٢ °م إلى ١٠٩٣ °م (١٨٠٠-٢٠٠٠ °فهرنهايت) لزمان الاستبقاء للنموذجي لمدة ٢ ثانية ، طبقاً لضوابط كل حالة. هذا سوف يضمن أكسدة أي هيدروكربون غير محترق وينتج كفاءة تدمير وإزالة لمعظم المركبات العضوية المستقرة الخطره إلى حوالي ٩٩,٩٩%.

التحكم في الانبعاثات: Emission Control

استخدم الحرق كوسيلة مؤثرة للتخلص من المخلفات المعدية لعقود. التطوير المستمر حقق إضافة معدات للتحكم في تلوث الهواء في المحارق والتي تمكن من الحد من انبعاث الملوثات إلى الجو إلى حدود الاكتشاف بواسطة أجهزة القياس. تلك الأجهزة سيتم تناولها باختصار.

١. إزالة الجسيمات العالقة: Particulate Removal

أ. جهاز غسيل الغاز بالفنشوري:

أُستخدِمت أجهزة غسيل الغاز الفنشوري علي محارق المستشفيات في الماضي لإزالة الجسيمات بسبب قلة تكلفتها وقلة صيانتها. حيث تتوفر إمكانيات المياه ومعالجاتها فإن غسيل الفنشوري يعتبر الاختيار المفضل.

قبل دخول مغسلة الفنشوري ، فإن غازات الاحتراق يتم تبريدها إلى درجة حرارة نقطة نهاية التبوع (بدون تبادل حراري-Adiabatic) ، عادة يلي غلاية الحرارة العادمة. يتم تصميم الفنشوري بمقطع اختناق (زور-Throat) مبلل الذي يزيد سرعة غازات الاحتراق مع سحبها بواسطة الضغط السالب الناتج بفعل مروحة سحب التيار. هذا يزيد سرعة الغاز ، الاضطراب للمصاحب يزيد من طاقته إلى تنفخ مياه التدوير (ربما حتي ١٠ جالون في الدقيقة) بما يخلق نقاط مياه صغيرة التي تعمل كمصدات للجسيمات. تدمير المياه هذا يصبح حامضي إلى حد ما بسبب غازات (HCl) الممتصة ذات (pH=2) إلا إذا تم معادلتها ، بمجرد مرور غازات الاحتراق خلال الاختناق (الزور) ، فإنها تتمدد في مقطع التحويل ، ونقل السرعة بما يسمح بسقوط نقاط المياه المحتجزة حاملة الجسيمات معها. كفاءة الإزالة هي بدلالة الانخفاض في الضغط خلال الفنشوري وتوزيع حجم الحبيبات. إقتناص للجسيمات ذات الحجم دون الميكروني ثلاث

الكيميائيات غير المتكافئة والتي هي للمعادن الثقيلة (Dioxins), (Furans) ، تحتاج تقريباً إلى ٦٠ رطل/البوصة المربعة فوق ضغط عبر الفنشوري عالي الطاقة للحصول على ١٠٠ ملجرام/قدم مكعب جاف في الدقيقة كحد انبعاث. هذا سوف يعني أن النظام المصمم لحرق ٩٠٠ كجرام/الساعة (٢٠٠٠ رطل في الساعة) من المخلفات الطبية ذات ٥٥٥٦ كيلو كالوري/كجرام سوف يتطلب محرك مروحة بقطر داخلي ذات ٣٥٠ حصان تقريباً، حجم هذا المحرك يمكن خفضه بحوالي ٥٠% بالتبريد لغازات الاحتراق المشبعة إلى ٤٣°م (١١٠°فهرنهايت) خلال استخدام برج تبريد، حيث تتكثف معظم المياه في العملية، بالإضافة إلى حمل الجسيمات من عملية الاحتراق، فإنه تتكون جسيمات ملحية نتيجة معادلة الغازات الحامضية بواسطة المحلول القلوي، جزء صغير منها سوف يحمل كذلك إلى الخارج مع تدفقات غاز الاحتراق. غالباً، في محارق المخلفات الطبية، يوضع جهاز غسيل الغاز تحت التيار للفينشوري. استخدام فنشوري الغسيل عالي الضغط ليس عملياً لتحقيق معدل لانبعاث المنخنة عند ٣٤ ملجرام/سم (٠,١٥ جرام/متر مكعب في الدقيقة)، علي أساس الجفاف مع التصحيح إلى ٧% أكسجين.

مغاسل رطبة أخرى (Wet Scrubbers) مثل (Calvert collision Scrubber) تستخدم في محارق المخلفات المعدية لإزالة الجسيمات، خفض متطلبات للضغط إلى الثلث تقريباً ولكنها مكلفة مقارنة بالفنشوري العادي.

رغم أن المرسب للكهروستاتيكي وجهاز الغسيل الرطب بالتأين ذو كفاءة عالية بالنسبة لإزالة الجسيمات والقدرة علي العمل عند الانخفاض في الضغط القليل، ليسوا مكلفين ولكن لم يتم استخدامهم في حرق المخلفات المعدية.

مجمعات المرشح من نسيج القماش:

Fabric Filter Collectors:

مجمعات المرشح من نسيج القماش المستخدمة حالياً في محارق المخلفات المعدية تتكون من أكياس مرنة متعددة محملة بأقفاص معدنية في حجرة من الصلب، معزولة من الخارج للمحافظة علي أسطح المعدن ملتصقة مع غازات الإحتراق من السقوط إلي ما دون نقطة الندى للغازات الحامضية المكونة خلال عملية الاحتراق. بدون العزل يمكن أن يحدث التآكل علي السبائك القياسية. تستخدم حجرة مجمعات المرشح من نسيج القماش الأسطوانية في نظم محارق المخلفات الطبية . الغازات القذرة تمر خلال الطبقة (Cake) التي تتراكم علي مجال الترشيح، حيث تحجز الجسيمات. شكل الوسط الترشيحي هو عادة في شكل أكياس طويلة أنبوبية رغم أن بعض التصميمات تستخدم خرطوشات الترشيح، التي توفر مساحة سطح تجميع عاليه في الشكل المنمذج.

تجهيزات مجمعات المرشح من نسيج القماش لها كفاءة اقتصاص عالية عند انخفاض قليل في الضغط لأقل من ١٥,٢ جرام/سم^٢. تزال الجسيمات من الوسط الترشيحي خلال استخدام نبضات نفثة (Pulse Jets) من الهواء بالحقن داخل الأكياس، يحدث اهتزازاً وتفتتاً للترسيبات (Cake) المجمعة على الجانب الخارجي للكيس، لقد حدث تطوير في تصميم تلك التقنية وتقدم في الوسط الترشيحي خلال العقد الماضي والذي حقق زيادة عمر الخدمة مع أدنى متطلبات للصيانة، فقد وصل عمر استخدام الكيس إلى أكثر من ثلاث سنوات.

بالإضافة إلى الكيس المستخدم عادة من الصوف الزجاجي المغطي بالتيفلون فإن الوسط المناسب في هذه التطبيقات هو الشعيرات المخلقة ذات المقاومة الحرارية (Thermostable). وسط ترشيحي آخر يستخدم في نظم محارق المخلفات المعدية هو (Gore-tex)، وهو غشاء ترشيح على أساس من الصوف الزجاجي. أوساط الترشيح تلك تعمل باستمرار عند درجة حرارة ٢٦٠م (٥٠٠ فهرنهايت) وإلى حد ما سوف يضرب مثلاً مقاومة عالية للحامض، إجهاد شد جيد، كفاءة عالية لازالة الجسيمات (Gore-Tex) يستخدم الترشيح السطحي بكفاءة ترشيح عالية ولكنه ذو تكلفة عالية مقارنة بنسيج الصوف الزجاجي المغطي بالتيفلون. الجمع بين طاقة النظافة المنخفضة ومتطلبات النظافة المتدنية نتج عنه زيادة عمر الكيس عن أربع سنوات. بمجرد الاهتزاز والتفكك من أكياس المرشح، فإن الرماد من مجمع المرشح النسيجي ينقل من القادوس ذو الشكل شبه المنحرف أسفل الأكياس خلال المحبس الدوار عالي درجة الحرارة والجمع للتخلص النهائي.

إزالة الغاز الحامضي: Acid Gas Removal

المحاصر ذو الطبقة المدمجة: Packed Bed Absorber

يعد تبريد غازات الاحتراق إلى درجة حرارة النهاية بدون التبادل الحراري (Adiabatic Endpoint) قبل المرور خلال الفنتوري، ماص الطبقة المدمجة هو الاختيار الطبيعي لإزالة الغاز الحامضي. تجهيزه غير مكلفة نسبياً ويعتمد عليها ذات قدرة إزالة عالية الامتصاص غاز كلوريد الهيدروجين. يتم تدفق محلول صودا كاوية بالجاذبية فوق طبقة من السطح الممتد من البولي برويلين. غازات الاحتراق المحتوية على HCl والقليل من غازات SO₂ الموجود في مخلفات المنشآت الطبية يتدفق إلى أعلا في نظام تيار التدفق المعاكس مسبباً للتصاق جيد مع محلول الغسيل. ليس كل أجهزة المص بالطبقة المدمجة كانت مصممة في الشكل الأسطوانى العمودي بسبب قيود الارتفاع، لكن جميعها كان مصنوعاً من البلاستيك المقوي بالصوف الزجاجي لتجنب التآكل. التدفق فوق الطبقة المدمجة يكون أكثر انتظاماً في التصميم الرأسي مع كفاءة إزالة HCl تزيد عن ٩٩,٥%.

للبدل لهذا التصميم تم استخدامه حيث يوضع ماص الطبقة المنجمة فوق التيار لجهاز الغسيل الرطب لازالة الجسيمات مثل (Calvert Collision Scrubber) حيث المحلول الكاوي يتم تبريده إلي ما دون درجة حرارة غير الاحتراق بدون التبادل الحراري، وعند دوره تدفق مناسبة لضمان أن درجة حرارة غازات الاحتراق المشبعة الداخلة إلي الفنشوري تكون شديدة البرودة إلي حوالي 54°C (130°F فهرنهايت). نقاط الماء من الجسيمات دون الميكرونية في عملية التكتيف هذه وتعطي تلك الجسيمات والتي تصل إلى 50% تقريباً من تلك المنقولة من عملية الاحتراق، ديناميكا حركية هوائية (Aerody Namic) قطر أكبر ومؤثر عن الجسم نفسه. هذا يساعد في كفاءة الإزالة والتي هي دلالة قطر الجسم والفقد في الضغط خلال تجهيزه الفنشوري.

أجهزة الغسيل الجافة: Dry Scrubbers

أجهزة الغسيل الجاف للغاز الحامضي تتصف بخاصية عدم الصرف للسائل وقلة الاستخدام للمياه، مع نتيجة عدم وجود سحابة بخار إلا في حالة ظروف تشغيل جوية خاصة، وهي تستخدم عادة مع مجمعات المرشح النسيجي لإزالة الجسيمات. لذلك فإن الفقد في الضغط يكون أقل عن ذلك المطلوب لأجهزة الغسيل الرطبة باستخدام الفنشوري. هذا ينتج عنه خفض كبير في حجم محرك القطر الداخلي للمروحة.

تتكون أجهزة الغسيل الجافة من تصميمين أساسيين المستخدمين في نظم حرق المخلفات المعدية. الأول هو نظام الرطب/الجاف (Wet Dry System) المتضمن مجفف الرش (Spray Dryer) ومجمع مرشح النسيج المبني علي استخدام محلول من رذغة الجير المطفي أو بيكربونات الصوديوم الذي يتم ترزيهه آلياً أو حقنة خلال نافورات رش وحقنه في تدفقات غاز الاحتراق لتطيفه. نقاط رزاز لبن الجير أو بيكربونات الصوديوم تتفاعل مع HCl و SO_2 في تدفق غاز الاحتراق مكونه أملاح. نقاط الماء تتبخر بسبب درجة حرارة غاز الاحتراق عند 204°C إلي 260°C تاركاً جسيم جاف مع توفر وقت الجفاف. المرزز الدوار ينتج نقاط أصغر في الحجم وفي توزيع الحجم وأقل عرضة للإندداد والبري مقارنة بالنافورة (Nozzle) ولكن تكلفته أعلا. استخدام لبن الجير (Lime) في تقنية الرطب/الجاف .

تكون عادة في المجال المتكافئ من 1.5 إلي 2: 1، مع اعتبار كمية أعلا حيث لا يوجد رصد مستمر OHL - الحالة العادية لنظم حرق المخلفات المعدية بسبب التكلفة العالية والصيانة لمعدة للرصد.

التصميم الثاني وهو نظام الجفاف/الجفاف (Dry/Dry) والذي يشمل حقن مادة امتصاص أو امتزاز جافة مرتبطة بمجمع المرشح النسيجي، مستخدمة مادة جافة لما الجير أو

بيكربونات الصوديوم، الذي يتم قياسه من صهرج التخزين (Silo) ويرسل ويحقن بالطريقة الهوائية إلى تنفق غاز الاحتراق الجاف بواسطة ناشر (Diffuser). غرفة للتفاعل توفر الوقت لحدوث التبادل الجزئي وتجهيف الجسيمات قبل الاقتران بواسطة مجمع المرشح النسيجي. إضافة بعض بخار الماء إلى تنفقات غاز الاحتراق يتم عادة لتحسين تفاعلية عملية تعادل الغاز الحامضي وتخفيض الحرارة. درجة الحرارة للغازات في مجمع المرشح النسيجي هي عادة ما بين ٢٠٤ إلى ٢٣٢°م (٤٠٠ إلى ٤٥٠°فهرنهايت). بسبب درجة حرارة التشغيل العالية المستخدمة في مجفف الرش ومجمع المرشح النسيجي فإن الغاز الحامضي الذي يتم تعادله ليس له كفاءة ذلك في تقنية الرطب/الجاف ويمكن إحكامه بسهولة عند قشور الترشيح (Filter Cake). الغاز الحامضي المتبادل وترشيح الجسيمات يستمر على قشور الترشيح. تكلفة تقنية الجاف/الجاف تتغير كثيراً طبقاً للعامل المستخدم لخفض استخدام الجير، والذي خلاف ذلك سوف يحتاج إلى نسبة تكافؤية تقريباً ١:١ (الجير إلى الغاز الحامضي) بهدف الحصول على الإزالة اللازمة لحدود معايير الانبعاثات.

يوجد عدد كبير من درجات مواد الامتصاص المختلفة المتاحة لمعادلة الغاز الحامضي. البيكربونات هي الأكثر نشاطاً وتفاعلية ولكنها أكثر تكلفة عن الجير المطفي لنظم معظم حرق المخلفات المعدية يستخدم الجير المطفي Ca(OH)_2 ، بينما بيكربونات الصوديوم الطبيعية التي يتم استخراجها من المنجم تكون $(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$. كل نوع من الماص يختلف في تأثيره، ولكن الجميع أكثر تأثيراً في معادلة الغاز الحامضي كلما صغر حجم الحبيبات. نظراً لأن بيكربونات الصوديوم سريعة الذوبان في الماء فإنها المادة الطبيعية المناسبة لتقنية الرطب/الجاف. الجير المطفي الذي لا يذوب يمكنه إحداث الانسداد في الفتحات الضيقة (Nozzles) ويرى الأسطح المبللة. كمية البيكربونات المطلوبة لكونها أقل من الجير المطفي المطلوب وهذا يعني تكلفة أقل للتخلص من الرماد.

الزئبق يكون أحياناً موجود بكميات كافية لتوليد تركيزات عالية عادة لفترة قصيرة، في الغاز العادم من حرق المخلفات المعدية. التحكم في مركبات الزئبق والمعادن الأخرى المتطايرة مع المركبات العضوية الأخرى مثل (Dibenzo furan, Dioxin) تحقق بنجاح في نظم مجفف الرش، حقن الماص الجاف مع مجمع المرشح النسيجي لكل وذلك بإضافة كمية صغيرة نسبياً من الكربون المنشط (يكفي النوع غير المكلف) بمقدار ٠,٠٠٥ رطل/الرطل من تغذية المخلفات لتقنية مجفف الرش، ٠,٠٠٣ رطل/الرطل من للمخلفات المعدية لتقنية حقن الماص الجاف.

الباب السادس

6

الردم الأرضي لاحتواء المخلفات الخطرة والتخلص منها

الفصل الخامس والثلاثون:

الإنشاء للردم الأرضي

الفصل السادس والثلاثون:

الحجز والتخزين السطحي

الفصل السابع والثلاثون:

الحقن تحت السطح لسوائل المخلفات الخطرة

الفصل الثامن والثلاثون:

الإغلاق والعناية ما بعد الإغلاق للمجمع السطحي للمخلفات الخطرة

الفصل التاسع والثلاثون:

التخلص فوق سطح الأرض

الفصل الأربعون:

تلوث الهواء من مرافق التخلص الأرضي

الفصل الخامس والثلاثون:

الإنشاء للردم الأرضي لاحتواء

والتخلص من المخلفات الخطرة

Hazardous Waste Land Fill Construction

35

الغرض من الردم الأرضي للمخلفات الخطرة:

للردم الأرضي للمخلفات الخطرة يحتوي ويعزل المخلفات الخطرة التي لا يمكن استعادتها لتتطابق مع المعايير البيئية، لتحقيق هذا الهدف ، فإنه يجب أن يتم التخطيط للردم الأرضي وتصميمه وإنشاؤه وتشغيله وصيانته طبقاً لتحقيق متطلبات الحفاظ علي البيئة.

ملءمة المخلفات الخطرة للتخلص بالردم الأرضي:

قد لا يتم وضع المخلفات الخطرة قبل معالجتها أولاً لخفض السمية أو قدرة التنقل والحركة للمكونات الخطرة. لخفض للتأثيرات البيئية الضارة من المخلفات التي تم التخلص منها في الردم الأرضي للمخلفات الخطرة فإنه تم وضع القواعد لخواص المخلفات المناسبة للتخلص بالردم الأرضي. هذه القواعد تشمل خطر وضع الآتي:

- عدم وضع المخلفات الخطرة المحتوية علي سائل بدون وجودها في وعاء سواء تم إضافة مادة ماصة من عنده.
- الأوعية التي تحتوي سوائل حرة ، في حالة عدم إزالة كل السائل الحر بواسطة الدلق (Decanting) أو أى طريقة أخرى لو تم خلطه مع مادة ماصة لو تم تجميده حيث لا يتم ملاحظة وجود سائل حر. فإن مثل هذه الأوعية يجب أن تكون مملوءة علي الأقل بنسبة ٩٠% أو إذا كانت فارغة يتم لخفض في الحجم بالتقطيع قبل التخلص.
- تستثنى الأوعية التالية من القواعد السابقة.
- الأوعية الصغيرة جداً مثل الأمبولات، الأوعية التي تحتوي علي سوائل الاستخدام وليس للحفظ مثل البطاريات التي يمكن التخلص منها مباشرة في منشأ الردم الأرضي للمخلفات الخطرة.

- مجموعة الأوعية المحلية للمخلفات الخطره إذا تم وضعها أولا في أوعية ضخمة لا تسمح بالتسرب. مجموعة الأوعية المعملية يجب أن تملأ بكامل السعة وإحاطتها بما يكفي من مادة الامتصاص لاحتواء المحتويات السائلة للمجموعة المعملية. الوعاء الناتج يجب عننذ وضعه في وعاء خارجي أكبر مغلف بمادة ماصة التي لا تتفاعل مع المكونات أو أن تتحلل أو تشتعل بواسطة المحتويات داخل الأوعية. المخلفات غير المتوافقة لا يتم تجميعها والتخلص منها معاً في نفس الوعاء الخارجي.

طرق الردم الأرضي للمخلفات الخطره:

في معظم الحالات، يتم أولاً وضع المخلفات تحت سطح الأرض في حفرة لهذا الغرض، عموماً، يستمر الردم الأرضي فوق سطح الأرض مكوناً كومة التي تزيد من طاقة الردم الأرضي وتسبب الصرف للترسبات الساقطة من سطح الردم الأرضي. المخلفات الخطره التي يتم وضعها في الردم الأرضي توضع بطريقة بحيث أن المخلفات المتوافقة فقط يتم التخلص منها معاً. لعمل هذا، فإن المخلفات يتم وضعها إما في مساحات منفصلة أو في بطاريات مستقلة في منطقة ردم أرضي كبيرة.

خلايا الردم الأرضي: Land Fill Cells

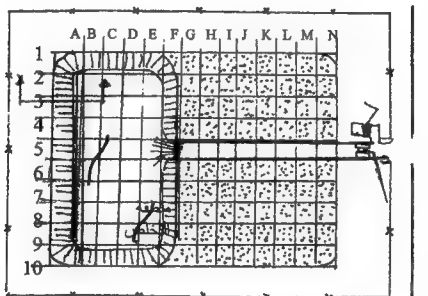
أحجام خلية الردم الأرضي تختلف طبقاً لمعدل التغذية اليومية وخواص المخلفات الخطره التي يتم استقبالها. ارتفاعات البطارية تتراوح من ٤,٩ إلى ٦,١ متر (١٦ إلى ٢٠ قدم)، رغم أن هذا المجال يمكن زيادته طبقاً لنوع المخلفات التي يتم التخلص منها ومعدل وصولها. يتم تعيين ارتفاع الخلية بما يمكن من توفير غطاء من التربة حيث تحتوي ما يمكن من المخلفات.

يتم إنشاء الردم الأرضي لاستقبال المخلفات الخطره بوضع ونشر المخلفات في طبقات من ٠,٦١ إلى ٠,٩١ متر (٢ إلى ٣ قدم) ثم الدمك باستخدام معدة مناسبة لتحريك التربة. يتم وضع طبقة مدمجة بسمك ٠,٣ متر (١ قدم) من التربة كغطاء فوق المخلفات عند نهاية كل يوم عمل.

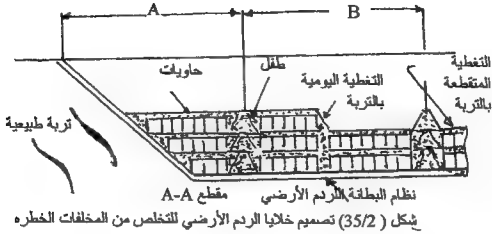
خلايا الردم الأرضي التي تستخدم الأوعية التي تحتوي علي مخلفات خطره مجمدة يتم انشاءها بوضع الأوعية قائمة في الخلية باستخدام ونش الشوكة أو حامل البرميل، تاركاً الفراغ الكافي حول الأوعية لوضع ودمك كمية من المخلفات الخطره المتوافقة أو من التربة. يتم كذلك وضع طبقة من التربة المدمجة بسمك ٠,٣ متر (١ قدم) كغطاء فوق الأوعية عند نهاية كل يوم عمل.

تربة التغطية يجب أن يكون لها الخواص التي تعيق تسرب مياه الأمطار والتحكم في الرائحة والانبعاثات التي يحملها الهواء من المخلفات التي تم ردمها.

عموماً يتم وضع خلايا الردم الأرضي طبقاً لنظام شبكي هندسي (Grid System) يتم إعداده في الموقع. المعالم الركنية للشبكة يتم تعيينها في الموقع بواسطة طاقم مساحي. يتم توفير التسجيل بالثلاث أبعاد وهي نظام البعدين للشبكة مع الصعود. (وهي المسافة من قاع أحد الخلايا إلى قاع الخلية فوقها) وذلك لتسجيل المصدر، النوع، وتاريخ وضع كل المخلفات في هذا المكان. الشكل (٣٥/١) والشكل (٣٥/٢) يبين العناصر الأساسية للتصميم لنظام الشبكة الملازم للردم الأرضي للمخلفات الخطره.



شكل (35/1) للنظام الشبكي لتصميم الردم الأرضي



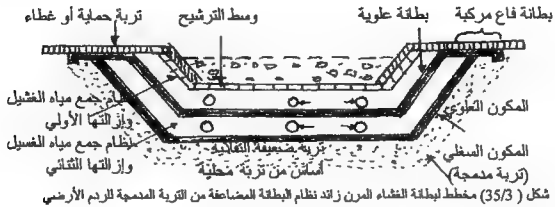
مظاهر حماية البيئة:

إجراءات حماية البيئة، والتي تشمل إحكام الترشيح (Leachate)، انبعاث الغازات، البري بفعل المياه السطحية، وتدفقات الأمطار هي من الاعتبارات الهامة لاختبار الموقع والانشاء للردم الأرضي للمخلفات الخطره.

التحكم في انبعاثات الترشيح:

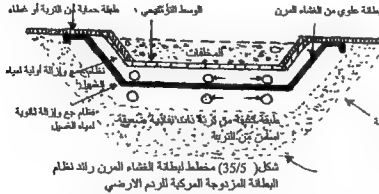
عموماً، الردم الأرضي للمخلفات الخطره يجب أن يتم تزويده بنظام لجمع، احتواء، وكذلك احتمال معالجة المرشح. التقليدي يتم وضع نظام من طبقتين كبطانة عند القاع وميول الاجناب وذلك مثل الوضع الأولي للمخلفات الخطره. نظام البطانة هذا سوف يحتوي الترشيح والذي يتم إنتاجه من المخلفات ثم يتدفق إلي أسفل بالجاذبية. سائل الرش الذي يتم فوق طبقة البطانة السفلية يتم توجيهه إلي واحد أو أكثر من أحواض التجميع خلال عدة مواسير تجميع متقبة من البلاستيك. من تلك الأحواض يتم ضخ سائل الترشيح إلي المعالجة (إما في الموقع أو خارج الموقع) والتخلص النهائي. طبقاً لمواصفات الوكالة الدولية لحماية البيئة (EPA) فإن بطانة القاع قد تكون إما طبقة من الطفل المعاد نمكه أو مادة طبيعية أخرى بسمك لا يقل عن ٠,٩١ متر (٣ قدم) والنفاذية لا تزيد عن 1×10^{-7} سم/ث، أو من غشاء مرن، البطانة العليا يجب أن تكون من الغشاء المرن. مواصفات البطانة المقبولة سيتم تناولها لاحقاً.

لتسهيل إزالة الرش من البطانة، فإن قاع الردم الأرضي يكون مائلاً، ويتم توفير العدد الكافي من مواسير الصرف بحيث أن عمق الرش فوق البطانة لا يزيد عن ٠,٣ متر (١ قدم). الأشكال (٣٥/٣)، (٣٥/٤)، (٣٥/٥) توضح التصميم المناسب لبطانة القاع ونظام جمع الرش.



المواد	الأبعاد والوصفات	أسماء المكونات والمخلفات الخطرة
وسط ترشيحي مدرج حبيبات مستديرة	السبك ≤ 6 بوصة السبي ضغط علي لبطانة العلوية = 12 بوصة	المخلفات الترشيعي
مادة الصرف من الحبيبات	السبك ≤ 12 بوصة لتوصيل الهيدروليكي $\leq 10 \times 10$ سم /ث أبواب الصرف	نظام جمع مياه الغشيل والإزالة الأولي
بطانة من الغشاء المرن	السبك الموسمي به لبطانة المرنة ≤ 20 ملي	بطانة علوية (مرنة)
مادة الصرف الحبيبية	السبك الموسمي به ≤ 12 بوصة لتوصيل الهيدروليكي $\leq 10 \times 10$ سم /ث أبواب الصرف	نظام جمع مياه الغشيل والإزالة الثاني
بطانة الغشاء المرن	السبك الموسمي به لبطانة الغشاء المرن ≤ 20 ملي	وصلة ضغط والتصاق بين التربة والغشاء المرن +
تربة ذات نفاذية منخفضة، منمجة مع الرفعات (مادة البطانة من التربة)	السبك الموسمي به ≤ 36 بوصة لتوصيل الهيدروليكي $\leq 10 \times 10$ سم /ث الإعداد في رفعت 6 بوصة خشب المسطح بين الرفعات	بطانة للقاع (المركبة من الغشاء المرن والتربة ذات النفاذية المنخفضة)
	منطقة عدم التصنيع مستوي المياه الجوفية	الأساس من التربة المحلية

شكل (35/4) لبطانة الغشاء المرن زائد نظام البطانة المزدوجة للردم الأرضي
ملاحظة: السبك 40 ملي بدلاً من 30 ملي في حالة عدم تغطية البطانة خلال 2 أشهر



كذلك يتم خفض الرشح بوضع غطاء ذو نفاذية منخفضة فوق أجزاء كاملة من الردم الأرضي، هذا الغطاء يجب أن تكون له نفاذية أقل من أو تساوي نفاذية نظام بطانة القاع. معلومات إضافية عن هذا الغطاء سيتم تناولها لاحقاً.

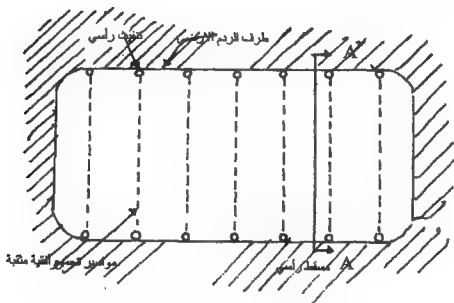
في بعض الحالات، يمكن استثناء الردم الأرضي للمخلفات الخطره من البطانة المزودة للتحكم في الرشح، إذا كان من بين العوامل الأخرى إذا كانت الدورة الهيدرولوجية سوف تعيق حركة الرشح نحو الأرض أو نحو المياه السطحية. فمثلاً، بعض المخلفات الخطره قد يكون لها أدنى ميل للرشح أو للحركة، كذلك فإن العوامل الهيدرولوجية في الموقع يمكن أن توفر درجة من الحماية، وتلك تشمل التربة المحلية ذات محتوى معين من الطفلة و/أو مسك كافي من التربة الموضوعة بين الردم الأرضي والأرض والمياه السطحية.

إحكام غاز الردم الأرضي: Land Fill Gas Control

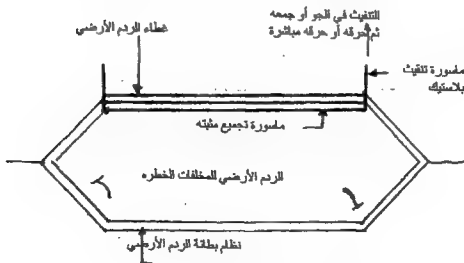
في حالة التخلص من المخلفات الخطره بالردم الأرضي، فإنه يتوقع إنتاج غاز من الردم الأرضي، غاز الردم الأرضي يتم إنتاجه كمنتج ثانوي الناتج عن التحلل اللاهوائي للمادة العضوية، ويتكون أساساً من الميثان وثنائي أكسيد الكربون، غاز الردم الأرضي للمخلفات الخطره قد يحتوي كذلك على آثار (أو حتي تركيزات عالية) من المواد العضوية المتطايرة، خاصة للردم الأرضي القديم للمخلفات الخطره التي بدأت العمل قبل استخدام المذيبات والمواد الأخرى المتطايرة في الردم الأرضي.

غاز الميثان هو غاز ليس له رائحة وغيروسام ولكن غاز الردم الأرضي يمكن أن تكون له رائحة بسبب وجود غازات أخرى. مكون الميثان يكون مفرقاً عند وجوده في الهواء عند تركيزات ما بين ٥ إلى ١٥%، ويكون قابلاً للاشتعال عند تركيزات أعلا في الهواء، غاز الردم الأرضي يمكن أن يتحرك رأسياً وعرضياً خلال التربة من الردم الأرضي تحت تدرج في الضغط أو للتدرج في التركيز خلال التسرب.

غاز الردم الأرضي من المخلفات الخطره يتم إما تنفيثه (Vented) إلي الجو أو جمعه وحرقه أو إشعاله. نظم التنفيث للجوي تتكون عادة من عدة مواسير تجميع متقبة أفقية موضوعة فوق مادة الردم الأرضي وأسفل طبقة التغطية النهائية، يتم تصريف غاز الردم الأرضي إلي الجو خلال مواسير رأسية، البديل، هو إمكانية جمع غاز الردم الأرضي خلال تجهيزه شفاط سحب وإشعاله أو حرقه إذا كان شديد السمية أو ذو رائحة غير مقبولة في حالة صرفه في الهواء. الشكل (35/6) ، (35/7) توضح نظام الصرف لغاز الردم الأرضي.



شكل (35/6) نظام لتنفيث الغاز الردم الأرضي (مخطط)



شكل (35/7) نظام لتنفيث الغاز الردم الأرضي

التحكم في المياه السطحية : Surface Water Control

المياه السطحية من أماكن بعيدة عن الموقع يتم عادة توجيهها حول أو بعيداً عن الردم الأرضي خلال نصف استداره لماسورة معدنية موجة أو حفر مبطنة بخرسانة أسفلتية، يتم تصميم تلك الحفر بحيث يمكنها احتواء تنفقات من ما لا يقل عن ٢٥ عسام عند ذروة السيول.

عموماً يتم تداول المياه السطحية في الموقع كالآتي:

- التنفقات السطحية من المساحات عدا الردم الأرضي يتم توجيهها بعيداً عن الموقع.
- الصرف السطحي المعرضة لمساحات الحفر يتم توجيهها نحو أحواض من الغرين ثم صرفها بعيداً عن الموقع.
- الصرف السطحي من مساحة الردم الأرضي للنشطة يتم توجيهها نحو برك الحجز حيث يتم أخذ العينات للتلوث. المياه غير الملوثة يتم توجيهها بعيداً عن الموقع والمياه الملوثة يتم معالجتها في الموقع ثم صرفها إلى موقع المعالجة.
- التنفقات السطحية من أسطح الردم الأرضي الكاملة يتم توجيهه إلى برك الحفظ (برك مختلفة بخلاف المستخدمة من مساحات الردم الأرضي للنشطة نظراً لأن حجم التنفق سيكون أكبر وأن التنفق السطحي سيكون احتمال تلوثه قليل)، حيث يتم أخذ العينات للتلوث. المياه غير الملوثة يتم توجيهها بعيداً عن الموقع والمياه الملوثة تتم معالجتها في الموقع أو بعيداً عن الموقع.
- عموماً تستخدم ساحات سطحية ضيقة حفر صرف لتوجيه التنفق السطحي بعيداً عن مساحات الردم الأرضي. حفر الصرف المستخدمة الموجودة في الردم الأرضي يجب أن تكون قادرة علي احتواء بعض من الهبوط التفاوتي، ولذلك يتم انشاءها من مواسير معدنية مموجه أو من مواسير بلاستيك نصف مستديره مع وصلات مرنة متداخلة، وأحياناً تستخدم حفر أرضية من أحجار منكوكة.

جميع إمكانيات جمع التنفقات السطحية وحجزها (أحواض أو برك) يجب كذلك أن تكون قادرة علي احتواء تنفقات سطحية بأحجام ناتجة من ٢٤ ساعة لمدة ٢٥ عام.

مظاهر أخرى للردم الأرضي:

طرق الإقتراب:

يتم توفير طريق مرصوف في الموقع لربط منطقة التخلّص من المخلفات الخطره مع الطريق العمومي.

الطرق الثابتة في الموقع تكون عادة بعرض ٦,١ إلى ٧,٣ متر (٢٠ إلى ٤٠ قدم) لإمكان السير للمركبات في اتجاهين. في حالة صغر حجم مساحة الردم الأرضي فإنه يكفي طريق باتساع ٤,٦ متر (١٥ قدم). معظم الطرق في الموقع تكون مرصوفة، كذلك يمكن استخدام الطرق بالأسطح للزلطية.

درجات طرق الإقتراب تكون عموماً أقل من ٧ % لدرجات فوق النل وأقل من ١٠ % لدرجات أسفل النل.

الطرق المؤقتة تتشأ لاستقبال المخلفات لمنطقة نشطة أو عامله من الردم الأرضي من طريق مرصوف. للطرق المؤقتة يمكن أن تتشأ بدمك التربة المحلية وبإحكام الصرف بعيداً عن الطريق، أو بتغطية الطريق بطبقة سطحية من الزلط أو كسر الأحجار أو الخرسانة، أو الرباط بمادة أسفلتية ليكون الطريق قابل للخدمة خلال المناخ الرطب.

طرق الإقتراب المستديمة الموجودة فوق مساحات الردم الأرضي الكاملة تتشأ عادة لاحتواء بعض الهبوط للتفاضل أو لا يوضع نسيج أرضي (Geotextile) علي سطح الردم الأرضي ثم وضع قاعدة الصرف للزلطية وأخيراً السطح من الخرسانة الأسفلتية.

تربة التغطية: Soil Cover

تداول تربة التغطية هو جزء هام من الردم الأرضي للمخلفات الخطره لأن التربة عادة تكون بإمداد قصير ومحدود، ونوع للتربة الجيد يساعد في عزل المخلفات المترسبة، لذلك، فإن هذا النشاط يتم تخطيطه جيداً ويتضمن العناصر الأساسية التالية:

- التربة التي يتقرر أنها قابلة للحفر ومناسبة للاستخدام كغطاء يتم كشطها وجمعها للاستخدام لاحقاً قبل أن يتم دفنها بامتلاء المخلفات.
- برامج الحفر المعجلة يتم تنفيذها أحياناً خلال الجو الدافئ لتجنب الحاجة إلي حفر التربة المتجمدة خلال الطقس البارد.

- لكوام التربة يتم وضعها بعيداً عن مركبات وصول المخلفات، ولكنها مناسبة للوضع اليومي للغطاء. وهذا يقلل من تكاليف تداول التربة.
- لكوام التربة يتم وضعها وصيانتها لخفض البرك بسبب تدفقات الأمطار.

المباني والمنشآت:

المباني والمنشآت التي تتوفر في موقع الردم الأرضي للمخلفات الخطره تشمل:

- مبني المكتب.
- منشآت للعمالة (مثل غرفة للطعام، حمامات، وخدمة صحية).
- معمل لتحاليل المخلفات القادمة وعينات التحكم.
- مبني حفظ وصيانة المعدات.
- مصاحات للإسعافات والطوارئ.

المباني في المواقع التي تستخدم لمدة تقل عن ١٠ سنوات تكون مؤقتة، وتكون الإنشاءات من النوع المتحرك، كلما أمكن فإن كل الإنشاءات سواء كانت متحركة أم مستديمة، يتم إقامتها علي الأرض الطبيعية بمسافة كافية من الردم الأرضي وذلك لمنع إمكانية تسرب ووصول الملوثات من غازات الردم الأرضي بسبب التسرب تحت السطحي. كقاعدة عامة أدني مسافة من منطقة الردم الأرضي هي ٣٠٥ متر (١٠٠٠ قدم). إذا كانت المنشآت سيتم وضعها فوق المخلفات الخطره المحتوية علي مواد عضوية أو أي مادة أخرى غير مناسبة، فإن الهبوط المتوقع يجب أن يؤخذ في الاعتبار.

صفحة الأرض: Land Scaping

إحكام صفحة الأرض من التفتت والتآكل لموقع الردم الأرضي يتم اختباره طبقاً

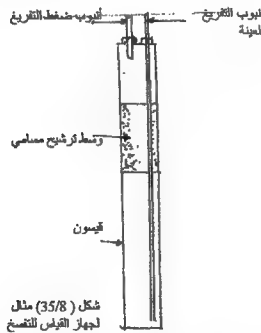
للبينات التالية:

لإحكام التفتت، فإن الانحدار النهائي لسطح الردم الأرضي يجب أن تتم المحافظة عليه مستويًا نسبياً مع استمرار الصرف الجيد. الميل الذي تتراوح ما بين ٥% كحد أدني إلي ٣ : ١ كحد أقصى هي النموذجية. عادة يتم زراعة الحشائش وأنواع أخرى من النباتات لتثبيت التربة. لا تتم زراعة النباتات ذات الجذور العميقة فوق الردم الأرضي عدا في حالة توفير طبقة كافية من تربة التغطية لمنع وصول الجذور إلي الغطاء السفلي ذو النفاذية الضعيفة.

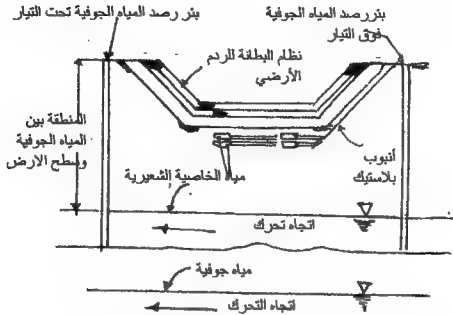
إمكانات التحكم:

الرصد والتحكم البيئي هو جزء مكمل لعمليات الردم الأرضي للمخلفات الخطره، إحكام منطقة الخاصية الشعرية (ما بين خط المياه الجوفية والمنطقة الهوائية وهي منطقة تحتوي علي الماء ولكن ليست مشبعة (Vadose Zone)، المياه الجوفية، والمياه السطحية بالنسبة لانبعاثات الرشح والتربة المحيطة والجو النسبة لانبعاثات الغاز من الردم الصحي (Land Fill Gas) يكون مطلوباً في كل للحالات.

أداة الرصد المستخدمة عادة لرصد منطقة عدم التشبع للتربة أسفل الردم الأرضي للمخلفات الخطره (Vadose Zone) هي باستخدام جهاز القياس للتفسيخ (Lysimeter) شكل (٣٥/٨).



يتم إقامة تلك الأجهزة في منطقة عدم التشبع أسفل موقع الردم الأرضي وقبل إنشاء القاع، البطانة ذات النفاذية الضعيفة. عموماً أجهزة التفسيخ توضع أسفل برك جمع الرشح أو نقط منخفضة أخرى في قاع الردم الأرضي ذلك لأن تلك هي الأماكن الأكثر احتمالاً لتسرب الرشح بعد بداية الردم الأرضي. لجهاز قياس التفسيخ الخلفية (Backup Lysimeter) توضع عادة أسفل أجهزة التفسيخ الأولية لتوفير مكان اكتشاف التسرب. الشكل (٣٥/٩) يبين وضع نظام الرصد لمنطقة عدم التشبع.



شكل (35/9) مخطط لنظام رصد المنطقة بين المياه الجوفية ولسطح الأرض

رصد المياه الجوفية: Ground Water Monitoring

عموماً آبار الرصد يتم إقامتها إلى عمق لا يقل عن ٣ متر (١٠ قدم) أسفل أقصى عمق للمياه الجوفية. علي أساس فرضية والبيانات حول خواص للرشح المنتج والنفاذية التقريبية في منطقة التهوية واتجاهات وسرعات للتدفق للمياه الجوفية، فإنه يمكن تقدير أقصى جد مساحي محتمل لتحرك الملوثات كأساس لإنشاء آبار للرصد.

يعتبر الإنشاء والمكان الجيد لآبار للرصد من الأساسيات في برنامج الرصد. الأذني هو أربعة آبار رصد للمياه الجوفية واحد بئر للإندجار العلوي (Up-Gradient) وثلاثة للإندجار السفلي (Down Gradient). ولكن حركة المياه الجوفية في الموقع (Site Hydrology) عادة تكون معقدة لعدد أربعة آبار فقط لتوفير الاكتشاف المناسب للتلوث للمياه الجوفية.

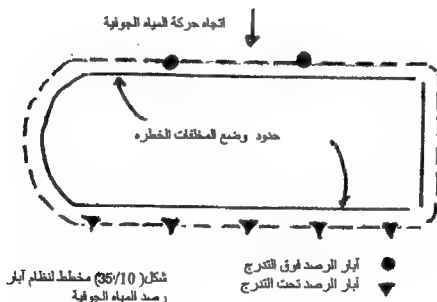
يتم وضع آبار الاتحدار العلوي ما بعد حد الإندجار العلوي للتلوث المتوقع من الردم الأرضي بحيث أن نوعية المياه الجوفية للخلفية "الطبيعية" يتم اكتشافها. تلك الآبار يتم إعدادها بالمصافي مثل آبار الإندجار السفلي للحصول علي بيانات مقارنة. يتم توفير العدد الكافي من آبار الإندجار العلوي لتوفير المعلومات الممثلة للواقع عن نوعية المياه للخلفية.

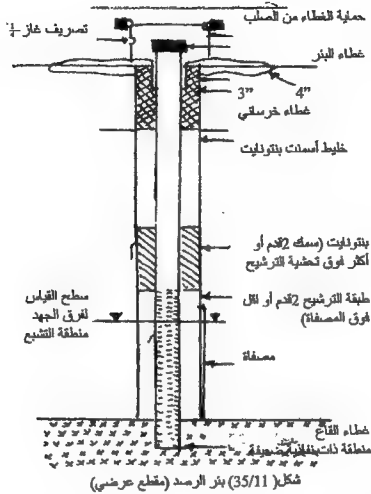
يتم وضع لا يقل عن ثلاث آبار الإنحدار السفلي لاكتشاف تسرب المخلفات الخطره أو مكونات المخلفات الخطره من وحدات إدارة المخلفات الخطره إلي الخزان الجوفي العلوي. تحديد عدد الآبار في نظام للكشف يتوقف علي الفاصل الأفقي بين أماكن الآبار وفترات أخذ العينات للرسمية لكل بئر.

آبار رصد الانحدار السفلي تزود بمصافي لتعكس الآتي:

- العوامل الهيدرولوجية التي تؤثر علي مسار الملوث نحو الخزان الجوفي العلوي.
- خواص الملوثات ذات التأثير علي حركة وتوزيع الكيماويات في الخزان الجوفي.
- العوامل الهيدرولوجية التي يحتمل أن تؤثر علي حركة الملوثات.

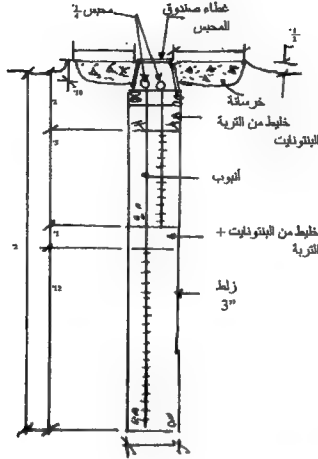
الشكل (٣٥/١٠) يبين نظام وضع بئر رصد المياه الجوفية. القيسون المستخدم يجب أن يكون خاملاً مع الملوثات يستخدم الصلب المقاوم ٣١٦ أو التيفلون في صناعة قيسونات آبار الرصد. تلك المواد عالية المقاومة للتآكل. الشكل (٣٥/١١) يوضح مقطع في بئر للرصد.





رصد غاز الردم الأرضي:

يتم إقامة نظام رصد غاز الردم الأرضي لتعيين مدى وجود خطورة من التسرب تحت السطح لغاز الردم الأرضي. تنص القواعد البيئية علي أن تظل مستويات غاز الميثان عن ٥% أو أقل في محيط الردم الأرضي، وأقل من ١,٢٥% في أي منشأ في الموقع. نظام الرصد يتكون من مجموعة من آبار للرصد مقامة بين مساحة إنتاج غاز الردم الأرضي لمنطقة الردم الأرضي. والمساحة المعنية (مثل منشأ سكني). الآبار يتم تجهيزها بواحد حتي ثلاث من المجسات (Probes) كل عند عمق مختلف لاكتشاف تركيز غاز الردم الأرضي. الشكل (٣٥/١٢) يوضح شكل بئر الرصد.



شكل (35/12) نموذج لابر الرمد للأرضي

اعتبارات التصميم:

تصميم الرمد الأرضي للتخلص يتأثر بعدة عوامل، والتي تشمل مساحة الموقع، الاقتراب من الحركة المرورية، وفرة تربة التغطية، نوع وخواص المخلفات المطلوب التخلص منها وطرق الملء الأرضي المستخدمة. المساحة العادية للموقع يتم تحديدها باستبعادها من المساحة الكلية للأرضي لأجل:

(١) عامل درئ ما بين جوار الموقع ومساحة الملء.

(٢) طرق الاقتراب.

(٣) مساحة تجميع لكوام التربة بعيداً عن سطح الملئ.

(٤) مساحة الانشاءات في الموقع وتخزين المعدات.

النموذجي هو أن مساحة الملء المستخدمة تتراوح ما بين ٥٠ إلى ٦٠ من

المساحة الكلية للموقع.

الطبوغرافيا:

عموماً يتم وضع الردم الأرضي في انخفاض طبيعي أو تم حفره أو في حفر تم حفرها لإيجاد طاقة تخلص في مساحات ذات أرض مستوية نسبياً، الأماكن التي توجد في المنخفضات (مثل حفر محاجر الطفلة والرمال والزلط، الانخفاض الطبيعي) عادة يكون لها كمية غير كافية من تربة التغطية المناسبة في الموقع لذلك فإن طاقة الموقع للمخلفات تعتمد علي وفرة التربة من مصادر بعيدة للتغطية.

عند استخدام موقع مستوي للرمد الأرضي، فإن السطح النهائي للموقع يتم تصميمه لتكوين ثل حول التدرج المحيط، يتم ذلك لتعظيم طاقة الملء للموقع ولتحسين التخلص من المياه السطحية. الارتفاع النهائي للثل يتوقف عادة علي اعتبارات القبول ووفرة تربة التغطية، للصرف يتم توجيهه بعيداً حول الموقع وخاصة في حالة استخدام عمليات الملء في مساحة الحفر.

صرف المياه السطحية:

معرفة كثافة الأمطار المحلية وطبوغرافية الأرض يكون مطلوباً لحساب أحجام التدفقات التي سيتم تداولها بواسطة نظام الصرف للموقع. إمكانيات الصرف عند الرمد الأرضي للمخلفات الخطره يجب أن تكون قادرة علي تداول ذروة التدفقات مما لا يقل عن ٢٥ عام.

التربة:

معرفة تربة الموقع وخواصها من الأهمية بالنسبة للرمد الأرضي للمخلفات الخطره.

تستخدم التربة كمواد إنشاء في الرمد الأرضي لأجل.

توفير الغطاء: تربة التغطية تقوم بمهام عديدة وهي. (١) للتحكم في تسرب المياه والذي يمكن أن يؤدي إلي إنتاج رشح.

(٢) تحمل نمو للنباتات.

(٣) احتواء المخلفات وعزلها عن البيئة المحلية وخفض انبعاثات الرائحة...

إلخ.

تلطيف تأثير الملوثات: خواص التربة مثل الرقم الهيدروجيني (pH) وإمكانيات التبادل الأيوني تؤثر علي قدرة التربة نحو تلطيف الكاتايونات في الصرف الذي يمكن

تكوينه. كلا من طاقة التبادل الكاتايوني والرقم الهيدروجيني يتم تحديدهم طبقاً للمحتوي من الطفلة، المحتوى من أكسيد الحديد الحر، المادة العضوية، تركيز الجير في التربة، ونفاذية التربة. عموماً، مع زيادة طاقة التبادل الكاتايوني والرقم الهيدروجيني، فإن المعادن الثقيلة تكون أكثر استعداداً للحجز والبقاء، بالمثل مع زيادة المحتوى من الطفلة، المحتوى من أكسيد الحديد الحر، وتركيز الجير في التربة فإن الرقم الهيدروجيني وطاقة التبادل الكاتايوني تزداد (أي طاقة التخفيف والتوهين).

نوع وكمية التربة اللازم استخدامها عند الردم الأرضي للمخلفات الخطره وكذلك جيولوجية الموقع يتم توصيفهم بدقة. حجم تربة الموقع ذات خواص مناسبة يتم تقديرها ومقارنتها بالحاجة من التربة لإنشاءات البطانة وتغطية المخلفات (اليومي ، المتوسط والنهائي) خلال عمر الاستخدام للردم الأرضي. كذلك يمكن نقل التربة من أماكن بعيدة وإن كان ذلك مكلفاً . يمكن استخدام الجير علي سطح التربة لزيادة الرقم الهيدروجيني.

الجيولوجي: Geology

جيولوجيا الموقع تعتبر من عوامل التصميم الهامة، التكوينات حيث توجد التشققات والوصلات وعدم الاستمرارية أو أن تكون مذابة يتم تجنبها، أو عمل تحسين في تصميم الردم الأرضي للحماية ضد تلوث المياه الأرضية. عموماً، الحجر الجيري، الدولوميت، والصخور البلورية الثقيلة تكون أقل قبولاً مقارنة بالحجر الرملي ، الحجر الطقلي، وأنواع التربة المدمجة الأخرى.

المياه الجوفية: Ground Water

مصمموا الردم الأرضي للمخلفات الخطره يراعون مظاهر المياه الجوفية في الموقع والتي تشمل:

- للعمق إلي المياه الجوفية من قاع الردم الأرضي المقترح والخواص الطبيعية والكيميائية للتربة أسفل القاع.
- اتجاه حركة المياه الجوفية. طبقاً لاتجاه المياه الجوفية فإنه يمكن تعيين آبار الرصد للمياه الجوفية. وكذلك التدرج الهيدروليكي يمكن حسابه من البيانات التي يتم للحصول عليها خلال الابحاث تحت السطحية قبل التصميم.

• نوعية، وفرة المياه الجوفية، واستخدامها الحالي والمستقبلي، ومكان الشحن الأولي وأماكن الصرف. فمثلاً، مكان الردم الأرضي الجيد قد يكون فوق مياه جوفية ذات نوعية متكنية. أو ذات إنتاجية ضعيفة وحيث حوض للمياه الجوفية لا يقوم بالصرف علي مصدر مائي قريب.

لا يمكن وضع المخلفات الخطره حيث لحتمال الاتصال بخط المياه الجوفية. كذلك معظم مناطق الشحن الجوفي يتم ابعادها وخاصة في المناطق حيث الخزانات الجوفية تكون مخصصة لاستخدامات مياه الشرب. الفصل بين قاع الملء وأعلا منسوب معروف للمياه الجوفية قد يصل إلي ما يزيد عن ١,٥ متر (٢ قدم).

الحجز والتخزين السطحي

Surface Impoundments

36

الحجز والتخزين السطحي:

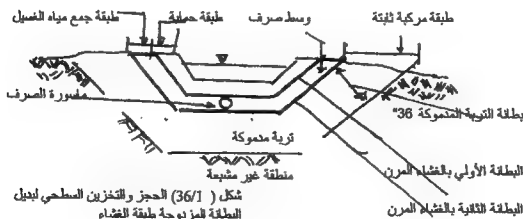
الحجز والتخزين السطحي عبارة عن حفر أو مساحة منخفضة مصممة لاحتواء تراكمات من المخلفات السائلة أو المخلفات التي تحتوي على سوائيل حرة. يوجد نوعين من الحجز السطحي لإدارة المخلفات الخطرة، تلك المصممة للتخلص النهائي وتلك المصممة للتخزين المؤقت للمخلفات الخطرة. يتم تصميم الحجز السطحي للتخلص النهائي كما في حالة الردم الأرضي، بينما انشاءات الحجز المؤقت تتطلب إزالة المكونات الملوثة ثم يلي ذلك الغلق.

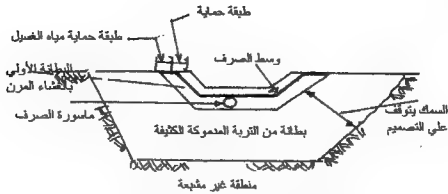
معظم الحجز والتخزين السطحي للمخلفات الصناعية يتراوح في المساحة من ٤٠٠ متر مربع (٠,١ هكتار) حتي ٤٠٠,٠٠٠ متر مربع أو (١٠٠ هكتار).

ومعظمها يستخدم جزئياً على الأقل في معالجة المخلفات. عمليات المعالجة المستخدمة كثيراً هي التعادل، الترسيب، المعالجة والهضم الهوائي واللاهوائي، ضبط الرقم الهيدروجيني، التلميع (Polishing)، والمستخدم للتخلص النهائي لا يزيد عن الثلث. التصميم والتشغيل:

طبقاً لقواعد وكالة حماية البيئة (EPA) يتم الآتي:

١. كل منشأ للحجز والتخزين جديداً أو تطويراً للمقام يتم تزويده بإثنين أو أكثر من البطانات ونظام جمع للرشح بين تلك البطانات شكل (٣٦/١)، شكل (٣٦/٢). يجب أن تحقق البطانات ونظام جمع للصرف المتطلبات التالية:





شكل (36/2) الحجز والتخزين السطحي لبدن الطبقة المزوجة
طبقة البطانة من الغشاء المرن زائد تربة مدمجة

أ- البطانة العلوية يتم تصميمها وإنشائها من المواد التي تمنع تحرك المكونات الخطرة وتسربها خلال فترة خدمة البطانة.

ب- يكون لها بطانة قاع مكونة من واحد من الآتي:

١. طبقة من التربة السميكة المدمجة بما يمنع تسرب أي مخلفات شكل (٣٦/١).

٢. بطانة مركبة مكونة من مكون علوي يشبه في خواصه البطانة العلوية والمكون السفلي بما لا يقل عن ٩٠ سم من التربة المدمجة ذات نفاذية أكبر من 1×10^{-7} سم/الثانية. شكل (٣٦/٢)

٢. متطلبات أخرى للبطانات تشمل الآتي:

أ. الإنشاء بمواد لها الخواص الكيماوية المناسبة والقوة الكافية والسماك لمنع حدوث التلف.

ب. الإنشاء علي مواد قادرة علي توفير التحميل للبطانات.

ج. التغطية لكل الأرض المحيطة المحتمل التصاقها مع المخلفات أو الصرف نظام جمع الصرف بين البطانات (Liners) يجب أن يتم تصميمه وإنشاؤه وصيانته وتشغيله لكشف وجمع وإزالة السوائل التي تتسرب خلال أي مساحة من البطانة العليا خلال الخدمة. بالنسبة للبطانات فإن المواد المستخدمة لإنشاء نظام جمع الصرف يجب أن تكون له الخواص الكيماوية المناسبة والقوة الكافية لمنع حدوث التلف. كما أن نظام تجميع الصرف يجب أن يتم تصميمه لمنع حدوث الانسداد.

بطانات التربة: Soil Liners

كلا البديلين لاستخدام التربة المدمجة في نظم التبططين لإنشاءات المخلفات الخطرة تشمل التربة المدمجة كمكون للبطانة المركبة شكل (٣٦/٣) والبطانة الثانية

تتكون فقط من التربة المدموكة شكل (٣/٣٦-ب) بينما توجد فروق هامة في خواص ومتطلبات كلا من بطانة التربة تلك، فإن الأداء الهام لخواص أي بطانة تربة هو التوصيل الهيدروليكي. لذلك فإنه سوف يتم تناول الاختبارات العملية والحقلية نحو التوصيل الهيدروليكي والعوامل ذات التأثير على التوصيل الهيدروليكي لبطانات التربة.

إختبارات التوصيل الهيدروليكي المعلي والحقلي:

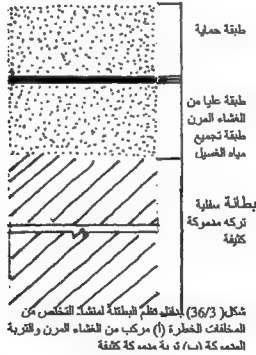
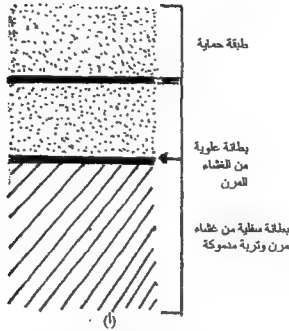
لعمود قد افترض المهندسون والعلماء أن بطانات للتربة من المواد الطفيلية بشكل مانع هيدروليكي غير مسامي. تلك الفرضية كانت مبنية على اختبارات عملية للتوصيل الهيدروليكي باستخدام عينات صغيرة من البطانة أعيد تشكيلها ولكن لم يتم عمل اختبارات حقلية لتأكيد تلك الفرضية.

الاختبارات العملية للتوصيل الهيدروليكي لبطانات التربة:

يمكن تقدير التوصيل الهيدروليكي لبطانة التربة في المعمل إما بواسطة أجهزة قياس النفاذية (Permeators) ذات الجدار الثابت أو ذات الجدار المرن (Fixed Wall Or Flexible Wall) ولكن كلا للطريقتين تعتبر أدوات جيدة للتحليل المقارن لمختلف أنواع التربة، ظروف التربة، وجهود للمك.

جهاز قياس النفاذية (٣٦/٤) له أجناب ثابتة جداً، التي وجد أنها أحياناً تشكل تدفق زائد قريباً من الجدار الجانبي (Side Wall). ولكن توجد طرق عديدة لكشف تدفق الجدار الجانبي الزائد في العينات، أولاً، اختبارات الجدار الثابت تعتبر غير مكلفة لعمل العديد من الاختبارات المتزامنة، إذا كانت عينة أو أكثر لها تدفق حائط جانبي زائد، فإن ذلك سيكون واضحاً في شكل توصيل هيدروليكي عالي، أجهزة قياس النفاذية ذات الحلقة المزدوجة شكل (٣٦/٥) تكون مجهزة بالواح قاعدة خاصة شكل (٣٦/٦) والتي تجمع التدفق كل على حدة خلال مصفوفة من عينة للتربة والتدفق قريباً من الحائط الجانبي.

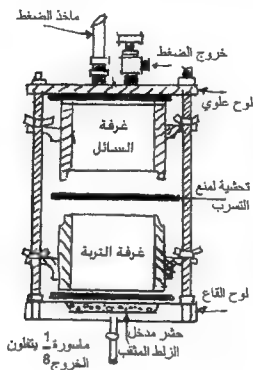
الحائط المرن ذو النفاذية (Flexibe Wall Permeator) شكل (٣٦/٧) لها عينات تربة مغلفة في أغشية مرنة، يتم تسليط الضغط خارج الغشاء، إذا يتم ضغط الغشاء مقابل التربة وإذا منع زيادة التدفق على طول أجناب عينة التربة. الميزة الرئيسية لأشكال ذلك الحائط المرن ذو النفاذية هي أن الضغط المحتجز يمكنه ضغط أي تشققات التي توجد في العينة، بما ينتج عنه خفض في التوصيل الهيدروليكي الظاهر.



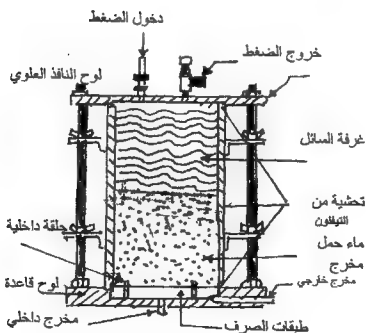
يوجد اختلاف في قيم التوصيل الهيدروليكي لكل من الإختبارات المعملية وتلك الحقلية والتي تشمل:

1. عينات التربة المعدة في المعمل لا تكون معرضة إلي الظروف المناخية (مثل إزالة الرطوبة والتجميد) والتي يمكن أن تسبب تشققا وزيادة التوصيل الهيدروليكي في بطانات التربة التي يتم تحضيرها حقليا.

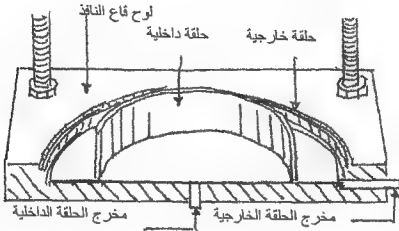
٢. عينات التربة تستقبل درجة أكبر من التجانس (مثل الطحن، وإزالة الصخور، والملوثات... إلخ) أكثر من العملي في الظروف الحقلية.



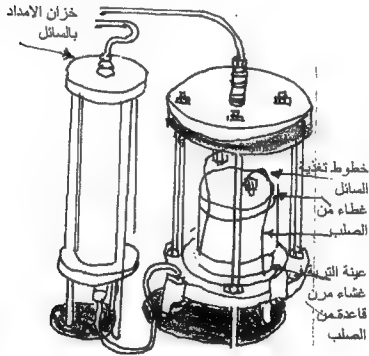
شكل (36/4) الناقد بالحائط المعطب



شكل (36/5) ناقد بالهطقة المزودة



شكل (36/6) لوح القاعدة للنافذ ذو الحلقة المزبوجة



شكل (36/7) نافذ الجدار المرن

الفصل السابع والثلاثون

الحقن تحت السطح لسوائل المخلفات الخطرة

Subsurface Injection of Liquid Hazardous Wastes



ما سيتم تناوله هو حقن المخلفات الخطرة للسائلة تحت السطح خلال آبار حفر عميقة. كلمة عميقة يعني بها العمق المطلوب الوصول إلي طبقة مسامية ذات نفاذية حاملة للمياه المالحة والمحصورة رأسياً بواسطة طبقات غير مسامية نسبياً.

مكان بئر الحقن: (Injection Well Siting)

المتطلبات العامة للموقع المناسب لبئر حقن المخلفات الخطره تشمل:

١. فاصل بيني للحقن الحامل للمياه المالحة بالسلك الكافي والانتشار والمسامية والنفاذية لقبول مياه الصرف بالمعدل الضروري عند ضغوط حقن آمنه وليست ذات قيمة اقتصادية أعلا من محتواها من الموارد المعدنية أو أى استخدامات أخرى.
٢. الطبقات العلوية والسفلية (طبقات للصر) تكون بالسلك الكافي ومنشرة وغير نفاذة لاحتواء المخلفات لفترة الحقن.
٣. عدم وجود تشققات وصلات منبثرة أو عدم انسدادات التي تسمح بهروب مياه الصرف التي يتم حقنها إلي الخزانات الجوفية المجاورة المعلومات عن الجيولوجيا والخواص الهيدرولوجية (حركة المياه) للبيئة تحت السطحية عند موقع بئر الحفر وفي المنطقة المحيطة يعتبر من الأساسيات لتقدير مدى ملائمة الموقع لحقن مياه الصرف والتصميم والإنشاء والاستخدام والرصد لأبار الحقن. في تعريف البيئة الجيولوجية فإنه يتم وصف الصخور السطحية بالنسبة للسلك والنوعية والبناء والخواص الهندسية.

اختبار الموقع لبئر حقن المخلفات لخطره يبدأ عند المستوي الإقليمي ثم يقترب إلي المكان المناسب، وأخيراً يتم التركيز علي المكان المناسب للبئر.

خواص مياه الصرف:

الجدول (٣٧/١) يبين خواص مياه الصرف غير المعالجة التي يجب مراعاتها عند تقدير ملائمتها للتخلص بالحقن تحت السطحي. الاختبار الأولي لتلك المخلفات يبين بصفة عامة ما إذا كانت هناك حاجة إلى تقييم تفصيلي. أثناء الدراسة التفصيلية تُسَمَّ محاولة تعريف كل مشاكل التصميم والتشغيل المتعلقة بمياه الصرف وتوفير لذلك متطلبات المعالجة المسبقة لمياه الصرف، وأشكال التصميم وطريقة التشغيل، أنه عادة ليس من الضروري لأغراض الحقن معرفة المكونات الكيماوية الحقيقية لمياه الصرف، حيث الاختبارات الأولية يمكن عملها لتحديد التفاعلية والنشاط والثبات للمخلفات. ولكن تلك المعلومات يتم الحصول عليها ليتمكن تقدير الأثر البيئي لحقن المسائل.

جدول (٣٧/١) العوامل التي تراعى عند تقييم ملائمة

المخلفات غير المعالجة للتخلص بالحقن العميق

أ-	الحجم.
ب-	الخواص الكيماوية:
١.	الكثافة.
٢.	اللزوجة.
٣.	درجة الحرارة.
٤.	المحتوي من المواد العالقة.
٥.	المحتوي من الغازات.
ج-	الخواص الكيماوية:
١.	المكونات الذائبة.
٢.	الرقم الهيدروجيني (pH).
٣.	الثبات الكيماوي.
٤.	التفاعلية-النشاط
أ-	مع مكونات المنظومة.
ب-	مع مياه التكوينات الأرضية.
ج-	مع المواد المعدنية في التكوينات الأرضية.
٥.	السمية.
د.	الخواص البيولوجية

أحد أهم الحدود المقيدة في إدارة مياه الصرف بالحقن تحت السطحي هو الحجم الذي يمكن حقنه بأمان لطول الفترة الزمنية المطلوبة. هذا لأن معدل المآخذ أو حياة البئر الواحد تكون محدودة بواسطة فترة الحقن، التي لا يمكن تغييرها كثيراً.

المتغير المحدد لمعدل الحقن أو لعمر البئر يمكن أن يكون ضغط الحقن المطلوب للتخلص من المخلفات المنتجة. ضغط الحقن عامل حاكم حيث أن الضغط الزائد يسبب التشقق الهيدروليكي واحتمال التلف بطبقة الاحتواء. بالإضافة إلى أن طاقة الضغط لطلبات حقن البئر، الموسير، القيسون يكون محدوداً.

الضغط الأولي المطلوب لحقن المخلفات بمعدل موصف والمعدل الذي عنده يزداد ضغط الحقن مع الوقت يمكن حسابه في حالة معرفة الخواص الطبيعية للخران الجوفي والمخلفات. معدل السحب لأبار حقن المخلفات الخطرة المستخدم حالياً (الذي هو حجم الحقن السنوي مقسوماً على الدقائق في العام- أي جالون في الدقيقة) يتراوح من أقل من 10×10^{-3} متر مكعب/الثانية إلى ما يزيد عن 4.4×10^{-3} متر مكعب/الثانية، (أقل من واحد جالون في الدقيقة إلى ما يزيد عن 700 جالون في الدقيقة). المعدل المتوسط لأبار حقن المخلفات الخطرة كان حوالي 7.4×10^{-3} م³/ث (120 جالون في الدقيقة).

أنواع المخلفات: Waste Types

لقد قدرت وكالة حماية البيئة (EPA) أنه في عام 1983 كانت المخلفات الخطرة التي تم حقنها في الولايات المتحدة في 108 بئر للحقن هي 41,3 % للكيماويات العضوية، 36,3 % للمعادن الثقيلة، 1,4 % للكيماويات غير العضوية للمخلفات الأخرى 21 %، ما يزيد عن نصف المخلفات التي تم حقنها كانت غير خطرة ولكن بسبب وجود مخلفات خطرة فإن إجمالي حجم المخلفات أعتبر أنه خطراً.

التوافقية: Compatibility

عند تحديد مكان وتصميم وتشغيل بئر الحقن يكون من المهم مراعاة التوافقية للمخلفات التي يتم حقنها مع المكونات الميكانيكية لنظام بئر الحقن، مع مياه التكوينات الطبيعية. فمثلاً، تفاعلات الحامض العدواني، عند الحقن بدون تعادل يمكن أن يتفاعل مع كل المواد الملائمة مسبباً نتائج غير جيدة. تكون رواسب أو بلمرات لكيماويات الحقن يمكن أن يؤدي إلى الانسداد لمسار الحقن. المواد العالقة يمكن أن تسبب مشكلة عند الحقن في الحجر الجيري أو الدولومايت حيث المسام كبيرة ولكن قد تلزم إزالته إلى أقصى حد ممكن عند الحقن في الحجر الرملي حيث الحبيبات دقيقة.

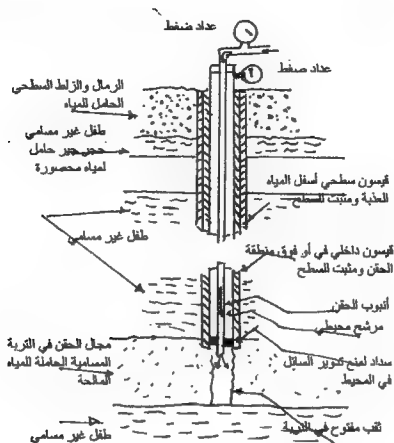
المعالجة السابقة للحقن: Pre injection Treatment

لضمان نجاح عملية التخلص تحت السطحي للمخلفات، فإنه يكون مطلوباً المعالجة المسبقة السطحية قبل الحقن لمياه الصرف. المعالجة يمكن أن تكون مكلفة. الهدف الرئيسي من المعالجة قبل الحقن هو لاعداد الخواص الطبيعية والكيميائية للمخلفات لتكون متوافقة مع المعدات السطحية وتحت السطحية المستخدمة مع موقع الحقن والمياه المتاحة.

تصميم وإنشاء بئر الحقن:

بعد إقرار صلاحية موقع البئر وملاءمة مياه الصرف للحقن يكون من المناسب عمل برنامج التصميم والإنشاء للبئر. أهم عناصر حماية البئر هو للحماية من التآكل. القرار الهام في تخطيط للبئر هو إختيار طريقة إكتمال ثقب القاع. تستخدم طرق كثيرة لعمل هذا، ولكن عموماً يمكن تصنيفها لطرق مستخدمة لأبار كاملة في تكوينات صامدة والطرق المستخدمة لأبار كاملة في تكوينات غير صامدة. التكوينات الصامدة هي الحجر الجيري، الأولومايت، طبقات الحجر للرمل والذي يظل ثابتاً في ثقب الحفر. معظم التكوينات غير الصامدة هي الرمال والزلط، وتلك يحدث لها هبوطاً سريعاً في ثقب الحفر في حالة عدم تحميلها بما فيه الكفاية. الأبار التي استخدمت في الولايات المتحدة كانت من بين ثلاثة أنواع وهي:

١. الثقب المفتوح في تكوينات صامدة.
 ٢. الأبار بالمصافي في تربة رملية أو زلطية غير صامدة.
 ٣. كاملة للقيسون والتحشية الأسمنتية حيث للقيسون المنقب في التكوينات الصامدة أو غير الصامدة.
- معظم أبار حقن مياه الصرف يتم إنشائها مع أنبوب حقن داخل للقيسون الطويل مع وجود بطانة حشو وتقوية (Packer) بين المواسير والقيسون قرب قاع القيسون شكل (١/٣٧).



شكل (37/1) مخطط ليدور حقن المخلفات الصناعية في الحجر الرملي

بعض الآبار يتم إكمالها بفتحة حلقيّة عند القاع. الحلقة يتم ملئها بسائل أخف من سائل الصرّف والذي يطفو على المخلفات المائيّة، هذا النوع من الآبار يسمى تمام لحام السائل (Fluid Seal Completion).

Monitoring Wells: آبار الرصد:

يتم إنشاء ثلاثة أنواع من آبار الرصد أحدهما في منطقة الحفن وواحد في أو فوق منطقة الاحتواء للحصول على بيانات جيولوجية والثالث للكشف عن تلوث المياه تحت التبار لتدفق المياه الجوفية.

الفصل الثامن والثلاثون

الإغلاق والعناية ما بعد الإغلاق للمجمع السطحي للمخلفات الخطرة

Hazardous Waste Impoundment Closure And Post Closure Care

38

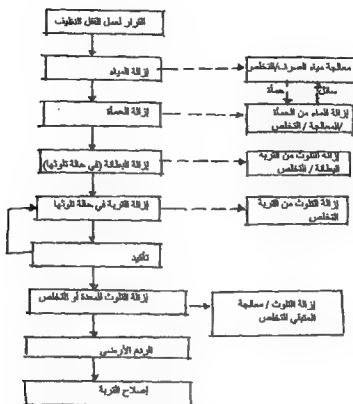
للمجمع السطحي لمخلفات السوائل الذي أستخدم للمخلفات الخطره يجب أن يتم غلقه بطريقة الإغلاق وما بعد الإغلاق. خطة الإغلاق يجب أن توفر مجموعة من الطرق اللازمة استخدامها للغلق بعد التوقف عن الاستخدام. وقد أعدت وكالة حماية البيئة طريقتين للغلق وهما (١) الغلق للتنظيف (Clean Closure) الغلق في المكان (In Place Closure) أي الغلق بالردم الأرضي. في هذا الفصل سيتم التركيز على بدائل الغلق وكذلك العناية لما بعد الإغلاق.

الغلق التنظيف للمجمع السطحي للمخلفات:

Surface Impoundment Clean Closure

توجد طريقتان للغلق التنظيف وهما إزالة للملوثات من كل المتبقي من المخلفات، ومكونات الحجز السطحي، للتربة الملوثة تحت السطحية، وكل الإنشاءات والمعدات الملوثة بالمخلفات أو وسائل الصرف (Leachate). للمراحل الأساسية للغلق التنظيف للمجمع السطحي موضح في الشكل (٣٨/١).

شكل (٣٨/١) مراحل الغلق التنظيف للمجمع السطحي:



شكل (٣٨/١) خطوات الحجز والتخزين السطحي والقليل التنظيف

كل نشاط الغلق النظيف يجب ترأقب وتوثق بواسطة مهندس متخصص.

أهداف نظافة الملوث:

اعتماد الغلق النظيف يتضمن الإغلاق بما يحقق:

- خفض الحاجة إلى عمليات صيانة تالفة.
- التحكم وخفض الحاجة الضرورية لحماية صحة الإنسان وحماية البيئة.
- إحكام القلق النهائي ضد هروب المخلفات الخطره أو أحد مكوناتها، والصرف، الأمطار الملوثة، أو تحلل المنتجات نحو المياه الجوفية أو المياه السطحية أو إلى الجو.

وهذا يتطلب (١) معرفة الملوثات (٢) معرفة مستويات التركيز للملوثات ذات العلاقة بصحة الإنسان والبيئة.

• هذا يتطلب أخذ العينات والتحليل للمخلفات.

الغلق في الموقع (الغلق بالتردمم الأرضي):

In Place Closure (Land Fill Closure)

البديل الآخر هو الغلق في الموقع (أو الغلق بالردم الارضي). بالنسبة للغلق في الموقع فإنه يجب أن يتم أخذ الخطوات التالية:

١. أبعاد السوائل الحرة بزرالة المخلفات للسائلة وتجميد المتبقي من المخلفات.
٢. تثبيت كل المخلفات المتبقية إلى طاقة تحميل تكفي لتحمل نظام التغطية النهائي.
٣. وضع للغطاء النهائي.

نظام التغطية النهائي: Final Cover System

معايير حماية البيئة تنص علي أن التجميع السطحي الذي تم غلقه مع المخلفات في مكانه (الغلق بالردم الأرضي) يجب أن تتم تغطيته بغطاء أخير.

هذا الغطاء الأخير يجب أن يتم تصميمه وإنشاؤه لتحقيق:

١. خفض حركة السوائل علي المدى البعيد خلال المجمع المغلق.
٢. الأداء مع أدنى متطلبات من الصيانة.
٣. تحسين الصرف وخفض البري للغطاء الأخير.
٤. احتواء الترسبات وثبات وقوة الغطاء.
٥. إحتواء نظام حجز هيدروليكي بنفاذية أقل من أو تساوي لتلك إما لنظام البطانة أو التربة التحتية السفلي أيهما أدنى.

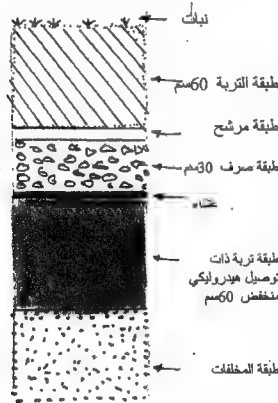
جدول (٢٨/١) مقارنة بين متطلبات الغلق والتنظيف

والغلق في المكان للمجمع السطحي للمخلفات الخطرة

البهان	الغلق التنظيف	الغلق في المكان
المخلفات	إزالة كاملة	إزالة السائل، تثبيت المخلفات المتبقية لتحمل الغطاء .
مكونات المخلفات	الإزالة إلي الحد حيث لا يحدث تحويل لصحة الإنسان والبيئة حالياً أو مستقبلاً	تترك في مكانها
الرصد	مطلوب لضمان أن الغلق التنظيف تم تحقيقه وليست هناك حاجة إلي الغلق النهائي	مطلوب خلال طول فترة الغلق الأخير
الغطاء النهائي	لا يوجد	غطاء أخير كامل
قيود استخدام الأرضي	لا	نهات ميت مطلوب لاعامة الأنشطة بما لا يثير الملوثات
الغلق النهائي	لا	صيانة الغطاء والملوث خلال فترة الغلق النهائي

الغطاء النهائي ذو الثلاث طبقات شكل (٣٨/٢) يتكون من .

١. طبقة من الغشاء أو التربة ذات توصيل هيدروليكي ضعيف. هذه الطبقة تكون من تربة مدموكة بسمك ٦٠ سم ذات توصيل هيدروليكي 1×10^{-7} سم/ث. للتربة المدموكة يجب أن تكون ملتصقة مع البطانة من الغشاء الأرضي بسمك لا يقل عن ٠,٥ ملليمتر.
٢. طبقة الصرف تتكون مما لا يقل عن ٣٠ سم من طبقة من التربة ذات أدنى توصيل هيدروليكي 1×10^{-2} سم/ث أو طبقة من مادة مخلقة أرضية ذات نفس الصفات.
٣. طبقة من النباتات العلوية في هذه الطبقة يجب أن تكون النباتات تنمو علي ما لا يقل عن ٦٠ سم من ميل التربة وبميل ٣-٥%.



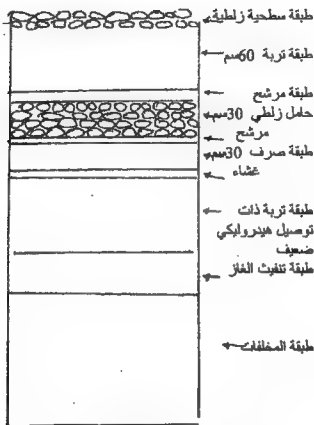
شكل (38/2) الغطاء النهائي للمخلفات الخطره

الغطاء الموضح في الشكل (٣٨/٢) هو أدنى اقتراح ويمكن تطويره كما في حالة الحاجز الإحيائي (Biotic Barrier) الموضح في الشكل (٣٨/٣).

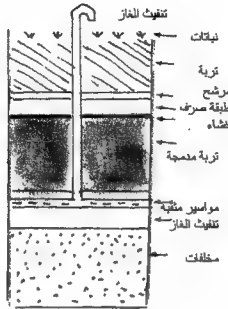
تصميم الغطاء الأخير يجب كذلك أن يراعي ضغط الغازات التي سيتم توليدها خلال فتحة بقاء المخلفات في مكانها. يجب أن يكون انشاء الغطاء قادراً علي تحمل تلك

الإغلاق والعناية ما بعد الإغلاق للمجمع السطحي للمخلفات الخطره

الضغوط أو يفضل وجود طبقة التي تمكن للغازات من أن تتصرف بسهولة نحو الجو
شكل (٣٨/٤).



شكل (38/3) مخطط للتغطية النهائية للمخلفات الخطره



شكل (38/4) مثال لنظام تصريف الغاز المقام في
الغطاء الأخير

العناية بالغلق النهائي: Post Closure Care

العناية بالغلق النهائي والصيانة يجب أن يتم تنفيذها لمدة لا تقل عن ٣٠ عاماً. خطة الغلق النهائي والعناية يجب أن تشمل:

١. فترة بدلية واكتمال الغلق النهائي.
- وصف خطة الرصد. العناصر الحاكمة لتلك الخطة يتم مراجعتها شهرياً (الجدول ٣٨/٢)، الحدود المسموحة ، وخطوات العلاج عند تعدي الحدود.
٢. وصف برنامج الصيانة.
٣. بيان العناصر المسؤولة عند للطوارئ.
٤. وصف الاستخدام النهائي للموقع.
- في حالة اختيار الغلق في الموقع فإن متطلبات الغلق النهائي يجب أن يتم تنفيذها.
١. صيانة الغطاء النهائي، مع عمل الإصلاحات اللازمة لتصحيح تأثيرات الهبوط، والبري، الاستقرار.
٢. صيانة ورصد نظام رصد المياه الجوفية.
٣. صيانة وتشغيل نظام جمع الصرف ونظام تنفيث الغاز.
٤. منع حدوث التلف للغطاء النهائي بفعل الأمطار والسيول.

الفصل التاسع والثلاثون

التخلص فوق سطح الأرض

Above Ground Disposal

39

مقدمة:

حتى بعد كل التقنيات المتاحة لخفض المخلفات والمعالجات، فإنه سوف تظل الحاجة للتخلص أو التخزين للمواد الصلبة المتبقية لمدة طويلة، تلك المواد المتبقية بما فيها الرماد، الحماة، الأملاح، التربة الملوثة، المخلفات المنزلية والوسائل المتجمدة تظل في حاجة لوضعها في الردم الأرضي المبطن أسفل سطح الأرض. ولكن لسوء الحظ حتى مع أفضل التقنيات المتاحة، فإن تسرب المياه نحو ذلك الردم الأرضي الناتج عن تراكم الصرف الملوث بمكونات خطره. معظم الصرف المتراكم يمكن إزالته بواسطة نظم جمع الصرف خلال ٣٠ عام من الإغلاق النهائي. ولكن الصرف يمكن أن يخترق البطانات ويسبب التلوث للمياه الجوفية، لقد ثبت أنه سوف يحدث دائماً تحرك للصرف من المخلفات المدفونة في الأرضي في المساحات الرطبة.

لمنع مكونات المخلفات الخطره من تلويث البيئة المحيطة، فإن المخلفات يجب أن تتم المحافظة عليها في الحالة الجافة. يمكن عمل ذلك باحتجاز المخلفات فوق الأرضي وتحت غطاء مانع لنفوذ المياه، أفضل من وضعها تحت سطح الأرض حيث يكون من الصعب وإن لم يكن من المستحيل المحافظة علي استمرار جفاف المخلفات وإذا لمكن المحافظة علي جفاف المخلفات المحتجزة عندئذ يمكن حدوث قليل من الصرف مع احتمال تلوث مصادر المياه الجوفية يقل كثيراً.

يوجد اثنين من البدائل فوق الأرض التي يمكن استخدامها وهما:

١. تخزين في سرداب (Vault Syorage).

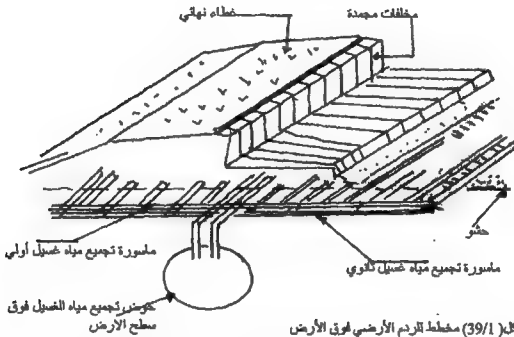
٢. الصرف في مصرف سطحي (Undrained) ، الردم فوق سطح الأرض.

أي شيء يتم عمله مع المتبقي من المخلفات الصلبة هي التخزين فقط، حيث يحتمل أن يظل خطره بيئياً لما لا يقل عن مئات السنين. لذلك فإن التخزين في السرداب يمكن اعتباره أما كتخزين قصير الأجل أو تخزين لمخلفات خاصة تحت ظروف محكمة، بينما الردم الأرضي فوق سطح الأرض يمكن اعتباره تخزين طويل المدى. كلا البدائل يحتاج إلي درجة ما من الصيانة مازالت المخلفات في الحالة الخطره.

بينما اعتبر تخزين السرداب مناسباً لمدة من ١٠ إلى ٢٠ عام لحين إتاحة بدائل أفضل، إلا أن القيود البيئية وكذلك تكلفة الصيانة العالية تجعل هذا البديل غير مرغوب فيه. لذلك يظل البديل فوق الأرض هو المستخدم للردم فوق الأرض.

الردم الأرضي فوق سطح الأرض: Above Ground Land Fills

المكونات الأساسية للردم الأرضي فوق سطح الأرض موضحة في الشكل (٣٩/١)

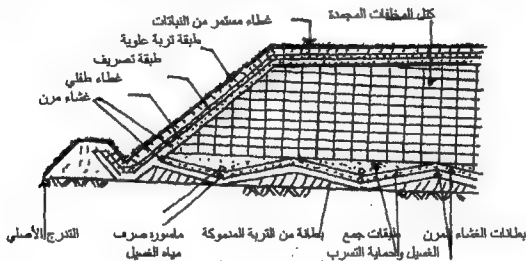


شكل (39/1) مخطط للردم الأرضي فوق الأرض

وهي تتكون من قاعدة مائلة التي يمكن أن تتحمل وزن المخلفات والغطاء.

القاعدة يجب أن تكون مغطاة بنظام بطانة ذو نفاذية ضعيفة لتأخير التسرب الراسي للملوثات من طبقة الصرف الرقيقة التي يمكن أن تكون موجودة على البطانة قبل وضع الغطاء وفي فترات حدوث تسربات من الغطاء. نظام البطانة يجب أن يتكون من غشاء مرن علوي وبطانة مركبة سفلية (ساندوتش من الطبقة المدمجة المغطاة بغشاء مرن). نظام صرف مكون من ركام زلطي ثابت ونظام مناسب من أنابيب الجمع يتم وضعه فوق البطانة. تلك الطبقة تعمل كتجميع أولي للصرف كنظام كشف للتسرب. بالإضافة، توجد طبقة مشابهة بين البطانات العليا والسفلى لتعمل كذلك كنظام ثاني لجمع الصرف ونظام كشف للتسرب للبطانة شكل (٣٩/٢). نظم جمع الصرف يجب أن يتم تصميمه بحيث يتم الصرف بحرية بالجاذبية وبحيث أن الصرف يخرج من الردم الأرضي فوق سطح

الأرض علي جانب أسفل الإنحدار. كما هو موضح في الشكل (٣٩/٢) ، التصميم المثالي هو بإنشاء القاعدة في شكل سن للغشاء بحيث لن الصرف من أجزاء مختلفة يمكن عزله.



شكل (39/2) طبقات تجمع الفضل الأولي والثالثي

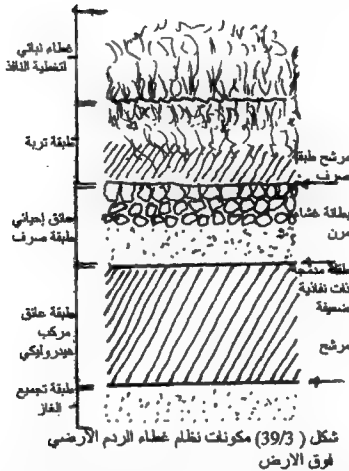
المنشأ بهذا الشكل يقلل حجم الوجه المستخدم وبذا تقل كمية الترسبات التي تساهم في الصرف الملوث. هذا يسمح كذلك بإنشاء غشاء من اللبانات ذات تطابق والذي يقلل الفواصل لمنع التسرب. الميزة الإضافية للأجزاء المعزولة لنظام: الصرف هي أنه في حالة تسرب من الغطاء في وقت ما في المستقبل فإن نظام الصرف سوف يقوم بإظهار أى جزء من الغطاء يحدث به تسرب.

يجب كذلك تدبير جمع والتخلص من الصرف. ومع التصميم والتشغيل الجيد سيكون من الممكن فإنه يمكن المحافظة علي كمية الصرف الناتج خلال الملاء إلى أمداء، وإذا لم يحدث تسرب من الغطاء ، فإن إنتاج الصرف سوف يتوقف فسي الحال بعد الإغلاق.

طبقاً لطبيعة المخلفات/ وتحديداً وجود السميات والمكونات المتحركة، قد يكون مطلوب إنشاء طبقات امتصاص فوق نظام جمع الصرف لإزالة المكونات غير المرغوبة والتي تتسرب من المخلفات الصلبة. طبقة من الركام الكالسيومي يمكن استخدامها لترسيب المعادن الثقيلة، بينما طبقة من اللجنين أو الكربون المنشط يمكن أن تقوم بامتصاص المواد العضوية المتحركة.

المثالي: المخلفات التي يتم وضعها في المنشأ يجب أن تكون مدمجة في الرفع أثناء الوضع لتوفير القوة المطلوبة اللازمة للتحميل الطبيعي للغطاء. المهمة الأولى للغطاء هي لمنع دخول المياه إلي المخلفات. الغطاء المثالي يتكون من الآتي:

١. طبقة جمع الغازات.
 ٢. حاجز هيدروليكي مركب يشمل طبقة مدمجة وبطانة من غشاء مرن.
 ٣. حاجز بيولوجي وطبقة صرف.
 ٤. طبقة عليا من التربة.
 ٥. غطاء مستمر من النباتات.
- مكونات مثل هذا النظام موضحة في الشكل (٣٩/٣).



توالي الطبقات والسماك يتوقف علي الحمل الهيدرولوجي الذي يجب أن يتم انعكاسه. يجب الحرص الشديد نحو التصميم والإنشاء للغطاء، حيث أن ذلك هو المكون الأكثر حساسية نحو تحديد إنتاج الصرف.

عند إنشاء الردم الأرضي فوق سطح الأرض، فإنه يلزم الإهتمام نحو توفير إحكام تسرب المياه حول كل الاختراقات خلال إما البطانة السفلي أو الغطاء. كذلك يكون من

المهم توفير التجميع المناسب للغاز ونظام الإزالة لمنع حدوث ضغوط للغاز خلال الردم الأرضي، والتي يمكن أن تؤدي إلى تلف الطبقة.

مميزات الردم الأرضي فوق سطح الأرض:

توجد فوائد عديدة نحو استخدام الردم الأرضي فوق سطح الأرض لاحتواء المخلفات الصلبة الخطرة. ربما أن تكون أكبر ميزة مقارنة بالردم التقليدي تحت سطح الأرض في أن الصرف يتم إزالته في الحال من خلال الصرف بالجاذبية، بدلا من وجود القوة الدافعة نحو تحريك الملوثات وبذلك خفض احتمال تلوث المياه الجوفية. إذا حدث بعد القفل حدوث تلف في الغطاء نتيجة عيوب في التصميم أو الإنشاء أو عيب الحيوانات، فإن ظهور الصرف سوف يعطي إشارة نحو الحاجة إلى صيانة الغطاء. لذلك، فإن النظام الأولي لجمع الصرف يعمل كنظام للعمل المستمر نحو كشف التسرب للغطاء. استمرار استخدامه سوف يجمع ويزيل الصرف، ويقلل إمكانية حركة الملوثات نحو المياه الجوفية، لحين عمل الإصلاحات للغطاء.

الردم الأرضي فوق سطح الأرض مناسباً نحو احتواء غازات الردم الأرضي المنتجة والمساعدة في جمعها، لذلك يتم إعداد حدوث احتمال تحريك الغاز تحت الأرض إلى المنشآت المجاورة.

توجد أسباب عديدة جيدة نحو عزل مختلف المخلفات في خلال منفصلة في تلك الإنشاءات. أولاً، يعمل ذلك مكون من السهل اختبار طبقة مناسبة لحجز أي مكونات متحركة. المنشآت فوق سطح الأرض مناسبة للمساحات حيث خط المياه الجوفية مرتفع.

الفصل الرابعون

تلوث الهواء من مرافق التخلص الأرضي

Air Pollution From Land Disposal Facilities



في حالة مشاكل المياه الجوفية التي تستغرق بعض الوقت لتحديث وتظهر ، ولكن تلوث الهواء له تأثير فوري ومباشر، كذلك، إحكام وتقدير تلوث الهواء من انبعاثات هواء الردم الأرضي يكون صعباً لأن انبعاثات الهواء تتأثر كثيراً بالمناخ، الجو، والعديد من التصميمات. أمثلة لمصادر انبعاثات الهواء عند مرافق للتخلص الأرضي هي الجمع والحجز السطحي (خزان أو سد)، للردم الأرضي، عمليات المعالجة الأرضية ، والحفظ في الخزانات والأوعية. أنه ليس من غير العادي لنظم معالجة الصرف والمياه الجوفية لتكون مصادر انبعاثات هواء نفسها. تلك العمليات للمعالجة، للتخزين، والتخلص يمكن أن تكون مصادر لكل من الجسيمات والمركبات العضوية المتطايرة.

فيود انبعاثات الهواء لمرافق التخلص يجب أن تحقق شيئين:

١. حماية مرفق التخلص والمعالجة والجوار.

٢. منع التلوث لنوعية الهواء الإقليمية.

تلك المتطلبات تعمل عن تأثيرين وهما الحاد والمزمن بفعل انبعاثات الهواء في البيئة. كقاعدة عامة كلما زادت المساحة المعرضة للمخلفات كلما زاد الانبعاثات. الانبعاثات كلا من المواد العضوية المتطايرة والجسيمات يتوقف علي الريح لحمل للملوث بعيداً عن المواقع أو لخلق قوة تشتت وانتشار. لذلك فإن معظم مصادر الانبعاثات عند مرافق التخلص الأرضي هي:

- الحجز والجمع السطحي (الخزانات).
- الردم الأرضي.
- المعالجة الأرضية.
- الحفظ في الخزانات والأوعية.
- نظم المعالجة.

الحجز والجمع السطحي، الردم الأرضي المفتوح، ومواقع المعالجة الأرضية يمكن أن يكون لها معدل انبعاثات كبيرة نظراً لأن لها مساحة سطحية كبيرة للمخلفات. الردم الأرضي المغلق، للتخزين في الخزانات والأوعية ونظم المعالجة مثل التجريد الهوائي (Air Stripping) لهم معدل انبعاث منخفض لأن المخلفات ليست معرضة للهواء.

عمليات التخلص تلك سوف يتم مناقشتها.

١. الحجز والجمع السطحي : (Surface Impoundments)

يستخدم الحجز والجمع السطحي في مرافق التخلص الأرضي لمعالجة، تخزين التخلص من المخلفات الخطره السائلة. يمكن تعريف الحجز والجمع السطحي بأنه الحفر، البرك، البحيرات الضحلة، الخزانات ذات السطح المعرض للهواء الجوي، نظم معالجة مياه الصرف، وأى وحدة التي تحتوي وتحتفظ بالمخلفات السائلة وسطح السائل يكون معرضاً للجو، تلك الوحدات تعمل عموماً بأحد أسلوبين وهما الساكن والمهوي. الخزانات الساكنة تستخدم في عمليات التسوية (Equalization)، للترويق، للترسيب، التخزين، المعالجة البيولوجية والتخلص. الخزانات أو الأوعية للهواء تستخدم للتبخير الشمسي ولكن تستخدم أساساً في المعالجة البيولوجية.

الخزانات والأوعية المكشوفة السطحية هي مصادر للمركبات العضوية المتطايرة والجسيمات خلال العديد من مجالات عملها.

آلية للتبخير للكيماويات العضوية المتطايرة من سطح التخزين المكشوف معروفة جيداً ولكن الانبعاثات ليس من السهل تقديرها، تتوقف انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة على ما هي الآلية لمصير المكونات الخطره في التخزين السطحي. المصائر الثلاثة الممكنة للمركبات العضوية المتطايرة التي لا يتم صرفها من سطح الحجز السطحي هي التبخير، التحلل البيولوجي أو الكيماوي، والإمصاص. ثم تعيين أربع طرق لإحكام وتحديد انبعاثات الكيماويات العضوية المتطايرة من أسطح الخزانات المكشوفة السطحية وهي:

١. المعالجة المسبقة.

٢. عمليات التصميم والتشغيل.

٣. التحكم في الموقع.

٤. تقنيات المعالجة اللاحقة.

إحكام المعالجة المسبقة يشمل إجراءات إدارية (مثل، إعلان عن المخلفات) وإجراءات فنية (مثل إزالة الكيماويات العضوية المتطايرة من المخلفات مثل وضع المخلفات في التخزين السطحي (التجريد الهوائي والتقطير). ومن الممكن خفض الانبعاثات بتقليل المساحة السطحية للسائل، بخفض درجة حرارة تدفقات السائل، بإنشاء مواسير ملء مغمورة، بخفض عمليات النظافة وكشط القاع. في التحكم في الموقع توجد أغطية وموانع البخر لمنع التبخر للمخلفات، ذلك التحكم يمكن أن يتداخل مع تشغيل مرفق الحجز السطحي وخاصة مع المعالجة البيولوجية.

إحكام الانبعاثات اللاحقة تتضمن جمع الانبعاثات بواسطة غطاء ، يليه معالجة تلك الانبعاثات.

الردم الأرضي: Land Fills

الردم الأرضي هو نظام للحجز الكامل للمخلفات الخطره التي تم التخلص النهائي منها. للردم الأرضي يتم تقسيمه إلى مساحات منفصلة تسمى خلايا، التي تستخدم لعزل طبقات من المخلفات التي ليست متوافقة. للمخلفات توضع في خلية إما في برمبل أو في شكل شحنة غير معبأة. بعد ملء الخلية بالمخلفات إلى ارتفاع حوالي ٦ قدم (١,٨ متر) ، فإنه يتم تغطية المخلفات أو البرامبل بطبقة من التربة بسمك حوالي واحد قدم (٠,٣ متر). طبقة المخلفات هذه تسمى رفعة (Lift)، ويتم بناء رفعة أخرى علي سطح الرفعة التي تم اكتمالها. عند امتلاء كل الخلايا ولا يمكن عمل رافعات أخرى، فإنه يتم قفل الردم الأرضي بواسطة الغطاء النهائي.

الردم الأرضي هي من مصادر الكيماويات العضوية المتطايرة وكذلك انبعاثات الجسيمات خلال مجالات نشاطها.

مع اعتبار تعقيدات الردم الأرضي، فإن الانبعاثات يمكن إحكامها بسهولة، الردم الأرضي للمخلفات المنزلية تمت دراسة حيث تم حل جميع غاز الميثان المنبعث من الردم الأرضي، وهذه التقنية تتطبق كذلك علي غاز الردم الأرضي للمخلفات الخطرة. يستخدم كلا من نظم الإحكام النشطة وتلك غير النشطة، النظم النشطة تستخدم لتفريغ غاز (Gas Vents) وآبار بظلمبات تفريغ لجمع غاز الردم الأرضي للمعالجة. للنظام الغير نشط يستخدم حولجز البخار ونظم الجمع التي تعمل علي التسرب والضغط الطبيعي.

المعالجة الأرضية: Land Treatment

المعالجة الأرضية أو للزراعة الأرضية (Land Farming) هو نشر المخلفات الخطره علي التربة، مع العمليات الطبيعية التي تسمح بحت التربة (Degrade) ومنع تحرك المكونات الخطره. الطبيعي هو أن المخلفات يتم إما استخدامها السطحي أو حرقها تحت السطح. خليط التربة والمخلفات يتم عندئذ حرثه وريه بالماء عند فترات منتظمة لتعزيز وتنشيط الأداء البيولوجي معدلات وفترات استخدام المخلفات تختلف طبقاً لحالة التربة والمناخ. لأن التحلل البيولوجي هو الهدف من المعالجة الأرضية فإن معظم المخلفات العضوية يتم التخلص منها بتلك الطريقة.

كلا من الجسيمات وانبعاثات الغاز يكون ممكناً من عمليات المعالجة الأرضية، انبعاث الجسيمات يمكن أن يكون بسبب حك الرياح للتربة الملوثة، الانبعاثات الغازية من تبخر المركبات العضوية المتطايرة.

إنبعاثات الهواء من المعالجة الأرضية يمكن أن تكون محدودة أساساً بفعل الأداء الجيد، يمكن لحكام الجسيمات بالاستخدام المنتظم للمياه والحرث لاستمرار قوام التربة الغنية. أسوار الرياح وأشكال مقاومة الجسيمات الأخرى يمكن أن تعمل طالما أن السطح غير مغطي ويمكن حرثه. الحقن تحت السطحي قد يقلل من انبعاثات الكيماويات العضوية المتطايرة بمنع صعود الملوثات السائلة على سطح التربة، والسماح بالخلط الجيد مع التربة. مع الخلط الجيد للتربة مع المخلفات كلما زاد احتمال التحلل البيولوجي للمخلفات قبل تطاير مكونات المخلفات.

التخزين في أحواض وأوعية: Drum and Tank Storage

تستخدم الأوعية والبراميل والخزانات لتخزين المخلفات الخطره. البراميل يمكن أن تحتوي أى مخلفات، وقد تستخدم في التخزين والتخلص أو كليهما.

الخزانات الثابتة عادة تكون محدودة لتخزين السوائل. كل أوعية التخزين تلك هي أساساً نظم مغلقة ولكن الانبعاثات الغازية تكون ممكنة طبقاً لطبيعة عمل المرفق.

مساحات تخزين البراميل هي مصادر لانبعاثات الكيماويات العضوية المتطايرة في حالة عدم الغلق الجيد لها، حيث يحدث ذلك عند التحميل والتفريغ ومن البراميل التي بها تسرب. البراميل المفتوحة للملء والتفريغ يجب عدم تركها مفتوحة في حالة عدم تداولها في الحال.

خزانات الحفظ تحتوي المخلفات السائلة لحين التخلص منها أو معالجتها أو تدويرها. خزانات حفظ المخلفات الخطره تشبه لتلك الأنواع المستخدمة في حفظ السوائل البترولية (مثال، للسقف الثابت، السقف الطافي، الضغط بنفس مواد الانشاء، وإحكام البخار).

الفصل الحادي والأربعون:

الإزالة الثابتة للملوثات

الفصل الثاني والأربعون:

الترشيع البيولوجي

الفصل الثالث والأربعون:

العمليات البيولوجية لمعالجة مياه الصرف الصناعي

الإزالة النباتية للملوثات

Phytoremediation



١. مقدمة :

الإزالة النباتية للملوثات هي مجموعة من التقنيات التي تنظف المواقع الملوثة باستخدام النباتات، للنباتات يمكن أن تعالج الملوثات بفعل الإنسان من خلال عدة آليات. بعض النباتات تدمر الملوثات العضوية وذلك بتحلل تلك الملوثات مباشرة. بعض النباتات تساعد في التحلل بطريقة غير مباشرة وذلك بحمل ودعم التجمعات البكتيرية. نباتات أخرى تأخذ الملوثات غير العضوية من التربة أو الماء وتركزها في أنسجة أو جذور النبات. باستخدام مختلف النباتات فإنه يمكن إزالة الملوثات في شكل تقنيات إحتواء تسمير، الاستخلاص. ولقد استخدمت تلك التقنيات لمعالجة المخلفات الخطرة في التربة، المياه السطحية، المياه الجوفية، في الترسبات. وتقدر تكلفة الإزالة للنباتية للملوثات بأنها تقل عن المعالجات الطبيعية، الكيماوية، الحرارية بما يتراوح ما بين أقل من ٢٠ % حتي ٥٠ %.

٢. القابلية للتطبيق:

تستخدم العديد من النباتات لإصلاح ومعالجة للعديد من الملوثات، حشائش البراري (Prairie Grasses) تم دراستها لخفض تركيزات الهيدروكربونات الأروماتية (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons). لقد أظهرت أشجار خشب الحور (Poplar Trees) خفض الزائد من الأسمدة الكيماوية المبيدات الحشرية، مبيدات الحشائش من النباتات التي تنمو علي تنفقات الأمطار. أشجار خشب اللقطن استخدمت لمعالجة (TCE) من المياه الجوفية، لقد أظهرت بعض النباتات أن تقوم بتحويل مركبات الفينول المكلورة (PCB'S). نبات حشائش الشيلم (Ryegrass) أظهر أنه يقوم باختزال مركبات (Pentachlorophene-PCP)، Creosote من موقع حفظ الأخشاب. تم دراسة العديد من الحشائش والنباتات الحقلية لقياس تأثيرها علي تلوث التربة بالمواد البترولية. الخردل الهندي (Indian Mustard) يمكنه استخلاص المعادن الثقيلة مثل الرصاص والكروم، كما أظهرت نباتات عباد الشمس إمكانية تركيز اليورانيم في جذورها.

يمكن استخدام الأرض الرطبة كعملية إزالة نباتية للملوثات، الأراضي الرطبة التي تنمو بها نباتات الغاب (Reeds) وذيل اللقطة (Cattails) تستخدم لمنع الصرف الحامضي من

المناجم لتلويث المجاري المائية. نباتات الأرض الرطبة الاخرى مثل نبات التيل (Duck Weed) ثم دراسته أيضا نحو قدرته علي تحلل التراي نيتروتولوين (TNT) وكذلك نواتج تحلله.

الإزالة النباتية للملوثات يبدو أنها مناسبة للنظافة علي مساحة كبيرة، وحيث الملوثات تكون بتركيزات بين المنخفضة والمتوسطة. إذا كان تركيز الملوثات عالي جداً تظهر سمية للنبات مع ضعف نموه، جنود النبات يجب أن تكون ملتصقة طبيعياً أو أن تكون قريبة جداً من الملوث المستهدف، بحيث أن يكون للغرض اللازم نظافته في مجال نمو الجذور.

الجدول الآتي للنباتات المستخدمة في المعالجة وعمل جذورها المؤثرة.

النبات	الخردل الهندي	الحشائش	خشب الحور
عمق الجذر	حتى ١٨ بوصة	حتى ٤٨ بوصة	حتى ١٥ قدم
المستهدف	معادن	مواد عضوية	معادن، مواد عضوية مذيبات مكلورة

آليات الإزالة النباتية للملوثات:

يوجد العديد من الآليات المستخدمة لمختلف أنواع الإزالة النباتية للملوثات حيث بعض النباتات قد تستخدم أكثر من آلية واحدة، إما في نفس الوقت أو بالتوالي. الآليات التي تستخدمها مختلف النباتات لإزالة الملوثات يمكن تقسيمها إلي أربعة أنواع رئيسية:

- التحلل البيولوجي الجذري للمعزز (Enhanced Rhizosphere Biodegradation)
- التحلل النباتي Phytode Gradation
- التراكم Accumulation
- تأثيرات طبيعية Physical Effects

١. التحلل البيولوجي الجذري المعزز:

هو سلسلة من التأثيرات للنبات علي الكائنات الميكروبية في المجال الجذري، المساحة المباشرة المحيطة بالجذر. يوجد بعض التعايش والتكافل الذي يحدث بين النبات والكائنات الحية الدقيقة المحيطة به. للتجمعات الميكروبية ثبت أنها أعلا بالضعف في تربة منطقة الجذور مقارنة بالتربة المجاورة الخالية من النباتات. للعوامل الحدية لنمو معظم الكائنات الميكروبية تشمل الأكسجين، مواد الغذاء والماء- جنود كثير من النباتات توفر تلك المتطلبات لمنطقة الميكروبات كمنتاج ثانوي للنمو الطبيعي للنبات مع اختراق الجذور للتربة، تحدث تهوية حيث تعمل الجذور علي تفكك التربة، وكذلك تحدث تهوية عند

إطلاق الجذور للأكسجين كجزء من عملية التنفس الطبيعي للنبات. طبقاً للتغيرات الطبيعية التي تحدث للنبات، حيث تموت أجزاء من الجذور مع التغيرات الموسمية للمياه ودرجة الحرارة. تلك الجذور التي ماتت تصبح غذاءً للتجمعات البكتيرية عند الجذور. تلك المواد الغذائية يمكن أن تعمل على استمرار الكائنات البكتيرية التي تعمل على تحلل الملوثات كجزء من عمليات الأيض (Metabolism). كذلك النباتات تعزز التجمعات البكتيرية وذلك بسحب المياه إلى قرب منطقة سطح الجذور، الأوراق الساقطة والجذور الميتة تضيف إلى المحتوى من المادة العضوية للتربة، والذي يضيف إلى قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه.

٢. التحلل النباتي:

التحلل النباتي هو عملية النبات نفسه لتحلل التلوث. هذا يمكن أن يحدث كعملية أيض للملوث خلال النبات أو بنقل أو تحويله إلى الشكل الأقل سمية خلال النضج والارتشاح. العديد من النباتات ينتج العديد من الأنزيمات، الكثير منها مفيد في تدمير الملوثات. فقد وجدت الأنزيمات (Peroxidase, Dehalogenase, Nitroreductase) وأنواع أخرى أنه يتم ارتشاحها ونضجها بواسطة بعض النباتات. تلك الأنزيمات يمكنها إما أن تزيل السمية من الملوث أو لتجعله معرض للاستهلاك الميكروبي.

٣. التراكم:

التراكم للملوثات غير العضوية يمكن أن يحدث نتيجة لنشاط النبات وتوجد النباتات التي تتمتع وتحتفظ بكميات من المعادن الثقيلة. تنحية وحجز الأيونات بالاتحاد معها في مركبات ذوابة (Sequestration) هي عملية الثبات وعدم التنقل للملوثات. جزيئات اللجنين يمكنها ربط بعض الملوثات. لقد أظهرت بعض الأبحاث أن أشجار خشب الحور (Poplar Trees) يمكنها أن تأخذ المعادن في الجذور بين خلايا الجذر، وذلك يزيد من مستويات السمية للنبات. عباد الشمس الذي ينمو على رصيف عائم في أوكرانيا وجد أن به تراكبات لكميات كبيرة من اليورانيوم في خلايا جذورها.

٤. التأثيرات الطبيعية:

سيتم تناول بعض الأمثلة:

١. كتلة المياه الجوفية الحاملة لمذيب يمكن أن تتم مقاطعتها مع حامل للجذور الذي يقوم بضخ الماء وتجريد المواد المتطايرة وتجفيف المياه الجوفية. اعتبارات التصميم لمثل هذا النظام هي معرفة حركة المياه الجوفية للموقع لتعيين حجم المياه الجوفية اللازم معالجته، وتعيين الثبات المناسب للمناخ والتربة. أشجار خشب الحور وأشجار القطن يمكن لجذورها أن تصل إلى ٨ قدم في العام الأول من

النمو، مختلف الأشجار القطن يمكن لجذورها أن تصل إلي ٨ قدم في العام الأول من النمو. مختلف الأشجار تحتاج إلي فواصل معينة لتأكيد أن الجذور تكون مانع أسفل السطح. الصفوف المتداخلة العمودية علي تنفق المياه الجوفية يمكنها تعظيم الالتصاق بين الجذور والخزان. الشجرة للناضجة تستخدم ما لا يقل عن ١٠٠ جالون من الماء في اليوم خلال ثلاثة أشهر الصيف في العام، ٥٠ جالون خلال أربعة أشهر من الربيع، الأشجار تصبح ثابتة في جزء من العام. بينما المياه الجوفية تستمر في التدفق طبقاً لمصدر التغذية.

٢. الاستخلاص النباتي للمعدن الثقيل من التربة يشمل اعتبارات خاصة بالزراعة مثل أي محصور حقلي، مع طرق خاصة لتحرك المعادن لتكون متاحة للنباتات، زائد إجراءات تأمين أداء الإصلاح. لقد أظهرت النباتات أنها تقوم بتركيز المعادن بمعدلات أجزاء في المائة، عند الحالة التي تصبح عندها تلك العملية إقتصادية لإعادة المعدن للاستخدام. يتم إعداد الموقع للزراعة وذلك بالحرث وإضافة المتطلبات طبقاً لنمو الحاصلات الغذائية للاستهلاك. بعد ثبات المحصول يمكن إضافة الكيماويات ليصبح المعدن متاحاً لياخذه النبات. بمجرد أن يتم سحب المعدن بواسطة النبات في الأوراق والسيقان، فإنه يتم حصاد المحصول وتجفيفه وتحليله لتعيين التخلص. للردم الأرضي، الردم الأرضي الكيماوي المؤمن، أو للتوفير. الاستخلاص النباتي يترك التربة النظيفة في مكانها. قد يلزم العديد من الحاصلات لخفض تركيز تلوث التربة إلي مستويات مقبولة.

٣. المخلفات العضوية في التربة غير المذابة في الماء أو المتطايرة تميل إلي عدم التحلل البيولوجي في الموقع. بعض أنواع الحشائش (Perennial) ونباتات أخري التي تكون كتل ضخمة من الجذور يبدو أنها تتعامل مع تلك المركبات خلال تعزيز التجمعات البكتيرية حول الجذور وذلك بإنتاج أنزيمات التي تجعل الملوث أكثر قابلية للتحلل البيولوجي ويأخذ بعض الملوثات إلي الجذور، للسيقان، الأوراق من أجل الأيض.

من المهم عمل الدراسات الأولية لتقدير القابلية للمعالجة لتعيين ما إذا كانت التربة سوف تتحمل نمو النبات وما هي أفضل الأنواع من النباتات التي تحقق أفضل تحلل للمركبات المستهدفة. بمجرد تعيين تلك الاعتبارات فإن النباتات يمكن أن تنمو لمسنين عديدة، مع عمل التحلل للمركبات بالإضافة إلي توفير غطاء نباتي للموقع.

الترشيح البيولوجي

Biofiltration

42

١١. مقدمة:

الترشيح البيولوجي هو تقنية حديثة لإزالة ملوثات الهواء، حيث تدفقات الغاز الملوثة تمر خلال وسط بيولوجي نشط. الكائنات الدقيقة الملتصقة بالوسط تعمل على تحلل المواد في الغاز الخارج، خفض التركيزات إلى ما يزيد عن ٩٠%. تلك التقنية تم استخدامها بنجاح في مجال التخلص من رائحة مياه الصرف لعدد من السنين. حالياً يحاول المهندسون هذا المفهوم مع عدد من ملوثات الغاز المختلفة وحقق نجاحات مقبولة.

التكلفة المنخفضة للتشغيل والصيانة تعود إلى متطلبات الطاقة المنخفضة لتشغيل النافخات الضرورية واستبدال الوسط الترشيحي تعتمد على نوع وحمل الملوث في تدفق الغاز.

وكذلك فإن الترشيح البيولوجي يعتبر تكنولوجيا طريقة نظيفة لإزالة الملوثات والذي يعني أنها تقلل الانبعاثات العضوية (وبعض من غير العضوية) إلى الماء، ثاني أكسيد الكربون، والأملاح بدلاً من انتقال الملوثات من الوسط الغازي إلى المجال السائل (مثال في حالة التجريد Scrubbing). وهذا يبعد الحاجة إلى المعالجة التالية والتخلص من الملوثات المزلة في الردم الأرضي أو كمخلفات خطره، لذلك يمكن خفض التكلفة. طالما أن تدفق الغاز الملوثة لا يترك خلفه مركباً ساماً في الوسط الترشيحي، عندئذ فإن الوسط يكون ببساطة مخلفات صلبة قابلة للتحلل البيولوجي بمشاكل تخلص قليلة أو بدون مشاكل تخلص.

في أوروبا أنت تقنيات الترشيح البيولوجي من الاستخدام المحدود لمقاومة الرائحة إلى الاستخدام في معالجة المركبات العضوية المتطايرة، كبريتيد الهيدروجين، الأمونيا، المركبات غير العضوية المتطايرة الجدول (٤٢/١) يبين الغازات القابلة للتحلل البيولوجي.

جدول (٤٢/١) للغازات القابلة للتحلل البيولوجي

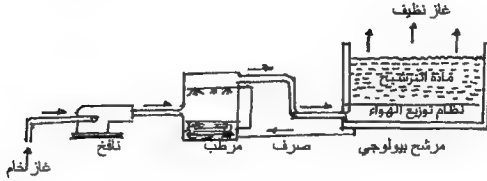
الركبات العضوية المتطايرة بطيئة التحلل جداً	الركبات العضوية المتطايرة بطيئة التحلل	الركبات غير العضوية المتطايرة سريعة النشاط	الكيمائيات العضوية المتطايرة سريعة التحلل
الهيدروكربون	هيدروكربون	H ₂ S	الكحولات
المهلجن	فينولات	NO _x (Not N ₂ O)	الألدهايدز
Poly Aromatic	ميثيلين كلورايد	SO ₂	الكيتونز
Hydro Carbons		PH ₃	الإيثرز
CS ₂		SiH ₄	الأيسترز
		NH ₃	الأحماض العضوية
			الأمينات

وصف العملية:

الترشيح البيولوجي استخدام عملية التحلل الطبيعي التي تحدث بفعل تكسير الكائنات الحية الصغيرة للمواد العضوية (وبعض للمواد غير العضوية) إلى ثاني أكسيد الكربون، الماء، كتلة بيولوجية ميكروبية. بالإضافة إلى أكسدة مركبات الكبريت المختزلة والمركبات العضوية للمكلورة لتنتج أحماضاً غير عضوية. في المرشحات للبيولوجية تنمو الكائنات الحية الدقيقة على مادة الوسط الطبيعي، بما فيها للتربة، المخلفات المنزلية المركبة، نشارة الخشب، الأخشاب، أو مجموع أى من تلك المواد.

خليط الوسط هذا يعزز أحياناً بمادة مخلقة متضمنة الكربون المنشط (لامتصاص مواد سامة معينة) والبولي استيرين الذي يوفر ثبات إنشائي وزيادة حجمية لخفض الهبوط في الضغط بزيادة المسامية لطبقة الوسط. تأثير تلك الزيادة في المسامية يمكن أن يسمح للغازات بالتدفق بحرية أكبر، بما يوفر الظروف البيئية الملائمة للنمو البيولوجي وخفض الطاقة اللازمة لدفع الغاز خلال النظام، بذا خفض تكاليف التشغيل.

عموماً المرشح البيولوجي يتكون من أربعة أجزاء رئيسية نظام النقل والتسرب لتدفق الغاز الملوث، المرطب لتتبع الغاز الخارج، طبقة من مادة ترشيح (بسمك واحد متر) ومنتشا تحمिल لمادة الترشيح شكل (٤٢/١).



شكل (42/1) مخطط لنظام المرشح البيولوجي بالطبقة الواحدة المفتوحة

توجد متغيرات حول تلك المكونات الأساسية. بعض النظم تكون مفتوحة للجو، وأخري تكون مغلقة وللتغذية إلي الخارج، كل نظام يعتمد علي الاستخدام، الظروف المناخية ومتطلبات الإزالة.

متغيرات أخرى في صلب التقنية تشمل عمليات المعالجة العميقة مثل المبادلات الحرارية لتبريد الغازات الخارجة، مرشحات للجسيمات لمنع الانسداد، إزالة المركبات التي تعيق التحلل البيولوجي ... إلخ

نظم الترشيح البيولوجي تعمل طبقاً للطريقة الآتية:

تم نفخ الغاز الخام إلي غرفة المرطب، حيث يتم تشبع الغاز إلي نسبة رطوبة من ٩٥ - ٩٩ %. يتم عندئذ مرور الهواء - الغاز في قناة نحو نظام التوزيع تحت طبقة الترشيح، حيث يتسرب خلال الوسط الترشيحي. الكائنات الدقيقة تعيش في طبقة رقيقة من الرطوبة تسمى الطبقة البيولوجية (Biofilm) علي المساحة السطحية لحبيبات الوسط الترشيحي.

الغازات الملوثة يتم امتصاصها علي الطبقة البيولوجية (Biofilm)، حيث تؤكسد الكائنات الحية الدقيقة وتحلل الملوثات. عملية التحلل البيولوجي تحدث فقط في الطبقة البيولوجية، ولا يتم لنقل الملوثات باستمرار إلي مادة المرشح. تأثير الإزالة للملوث تعتمد علي زمن المكوث للملوثات، معدل تدفق الغاز، مكونات تدفق المخلفات، معدل التحلل البيولوجي. عند البداية الأولية لنظام الترشيح البيولوجي، فإنه توجد فترة تأقلم للطبقة في هذا المجال تكون الكائنات الحية الدقيقة تأقلمت مع تدفق الغاز الملوث للاستخدام كطبقة سفلية. خلال فترة التأقلم هذه معدل التفاعل الحجمي يزداد بشدة حتي الوصول إلي حالة الاستقرار. تحت حالة الاستقرار عندما تكون الكائنات الدقيقة التي تقوم

بالتحلل هي السائدة، والكائنات الأخرى تكون قد ماتت أو إلى تركيزات منخفضة. الزمن اللازم للوصول إلى حالة الاستقرار حيث تكون كفاءة الإزالة عند أقصاها يتوقف على مكونات الغاز ونوع المركبات المعالجة. هذا الوقت يختلف ما بين القليل من الساعات للمركبات سهلة التحلل إلى أسبوعين للمركبات الأكثر صعوبة.

معايير عملية التشغيل:

عند بناء نظام الترشيح البيولوجي الذي يحقق كفاءة الإزالة المطلوبة للمركبات الكيميائية المستهدفة وتحقيق المتطلبات الأخرى مثل المساحة، فإنه يجب عمل اختبار ريادي. هذا الاختبار الريادي يوفر المعلومات الدقيقة إلى المهندس المصمم التي تساعد في تصميم نظام الترشيح البيولوجي بالحجم الكامل للاستخدام. أهم المعايير الخاصة بعملية التشغيل تشمل الآتي:

١. المحتوى من الرطوبة:

إن استمرار أقصى محتوى من الرطوبة في مادة المرشح يعتبر أساساً لكفاءة المرشح البيولوجي. لتقوم الكائنات الدقيقة بالأداء المؤثر فإنها تحتاج إلى الرطوبة. عند نفخ الغاز الخام غير المشبع خلال مادة المرشح فإنه يكون هناك تأثير للتجفيف. هذا التأثير يمكن مقاومته بإضافة المعالجة المسبقة للترطيب ونافورات رش المياه التي تقوم بترطيب وبلل مادة المرشح مباشرة وبطريقة متقطعة. أفضل محتوى من الرطوبة يتوقف على المادة المستخدمة ويتراوح من ٤٠ إلى ٦٠ % بالوزن. مع استمرار المحتوى من الرطوبة فإنه يساعد على إطالة عمر مادة الترشيح. إذا كانت مادة الترشيح معرضة لدورات ما بين البلل والجفاف، فإنه تكون هناك إزالة غير جيدة للملوثات وتلف المرشح البيولوجي، بالإضافة، فإن زيادة الصرف للماء خلال طبقة المرشح قد تكون مرغوبة بهدف غسيل الأملاح غير العضوية المتركمة والأحماض. كمية مياه الصرف الصغيرة هذه سوف تكون لها رقم هيدروجيني منخفض، ويجب معالجتها قبل صرفها للتخلص النهائي منها.

٢. درجة الحرارة:

نظم الترشيح البيولوجي تعمل بكفاءة عند درجة حرارة في المجال من ٣٠-٤٠°م. وحيث أفضل درجة حرارة هي ٣٧°م.

٣. صدمات التحميل والتوقف:

للمرشحات البيولوجية تقاوم بشدة صدمات التحميل، هذا يرجع إلى وفرة الأكسجين، مواد الغذاء، والتجمعات البكتيرية. مع تغير التركيزات، فإن قدرة الانمصاص للمرشح يمكنها تخزين الملوثات للتدخل البيولوجي لاحقاً، بهذا توفير التدفق المنتظم من الملوثات للكائنات الحية الدقيقة. التحميل الكبير لمركب جديد مثل سلفيد الهيدروجين (H_2S) قد يقتل تجمعات كبيرة من الكائنات الدقيقة محدثاً لرباك في عمل المرشح.

نظم الترشيح البيولوجي يمكن إيقافها لمدة حتى ٢-٣ أسابيع بدون أى تأثيرات خطيرة على المعالجة. هذه القدرة تعتمد على نوع الكائنات الدقيقة. بعد فترة توقف كبيرة فإنه يلزم مجال تأقلم آخر للوصول إلى الكفاءة الكاملة.

التحكم في الرقم الهيدروجيني (pH):

الكائنات الحية الدقيقة المستخدمة في المرشحات البيولوجية تفضل مجال الرقم الهيدروجيني من ٧ إلى ٨. للتحكم في تغيرات الرقم الهيدروجيني الذي قد يحدث بسبب أكسدة الكبريت أو المركبات المحتوية على النيتروجين فإنه يتم إضافة عامل درئ مثل لبن الجير.

معدل تدفق الغاز:

هذا العامل هو الذى يتحكم في الحجم الكلي لوحدة المرشح. الترشيح البيولوجي يكون أدؤه جيداً عند معدلات تدفق منخفضة، عند معدلات تدفق عالية فإن المساحة اللازمة للمعالجة المؤثرة يمكن أن تكون غير متاحة وخاصة في الأماكن الصناعية.

الخفض في الضغط واستهلاك الطاقة:

في نظام الترشيح البيولوجي الطاقة يتم استخدامها بالنافخ للتغلب على الضغط العكسي، الاستخدام الآخر للطاقة هو المرطب ولكن بدرجة أقل. الخفض في الضغط التقليدي يتوقف على المواد المستخدمة في الترشيح وبدلالة معدل التحميل السطحي. مع الوقت مادة الترشيح تندمج بسبب لنمو البكتيري وترسيب المادة. هذا الدمج سوف يزيد من الفقد في الضغط واستهلاك الطاقة سوف يزداد لمقاومة الفقد الإضافي في الضغط، في الواقع مادة الترشيح يجب أن يتم تقليصها لتقليل هذا الدمج أو استبدالها.

الفصل الثالث والأربعون

العمليات البيولوجية لمعالجة مياه الصرف الصناعي



١. مقدمة:

مياه الصرف الصناعي للمحتوية علي المركبات العضوية يتم معالجتها عادة بالعمليات البيولوجية ، إما كجزء من برنامج التدوير للمياه في المصنع أو كمعالجة نهائية، قبل الصرف علي محطة معالجة الصرف الصحي أو للصرف مباشرة إلي المسطح المائي الطبيعي. يمكن استخدام العمليات الهوائية أو اللاهوائية، طبقاً لخواص مياه الصرف ومستوي المعالجة المطلوب.

رغم عدم وجود خطوط ارشادية محددة نحو اختيار العملية، فإن العمليات الهوائية عموماً هي الأكثر مناسبة لمعالجة مياه الصرف المحتوية علي تركيز الاكسجين الكيماوي المطلوب (COD-Chemical Oxygen Demand) أقل من ٣٠٠٠ ملجرام/في اللتر أو الاكسجين البيولوجي المطلوب (BOD-Biological Oxygen Demand) بتركيزات أقل من حوالي ٢٠٠٠ ملجرام /لتر. العمليات اللاهوائية عموماً تكون مناسبة لمعالجة التركيزات الأعلى لمياه الصرف. في كثير من الحالات، تستخدم العمليات اللاهوائية للمعالجة المسبقة لمياه الصرف عالية التركيز إلي المستوي المناسب للمعالجة التالية بالعمليات الهوائية.

للمعايير الرئيسية لتصميم وتشغيل عمليات المعالجة البيولوجية تشمل زمن الحجز للمواد الصلبة، معدل التحميل العضوي، نسبة الغذاء إلي الكائنات الحية الصغيرة (F/M). يعرف بزمن الحجز للمواد الصلبة بأنه نسبة الكتلة للبيولوجية (Biomacs) في النظام (M) إلي معدل النمو لكائنات حية صغيرة جديدة (Rg) أو زمن الحجز للمواد الصلبة (Solid Retention Time SRT)

$$SRT = M / Rg \text{ days} \quad (1)$$

معدل تحميل المواد العضوية (OLR-Organic Loading Rate) يعرف بأنه كتلة الاكسجين الحيوي (BOD) في اليوم لوحدة الحجم.

$$OLR = KgBOD / d.m^3 \quad (2)$$

نسبة الغذاء إلي الكائنات الصغيرة تمثل كمية BOD المستخدمة في اليوم لوحدة الكتلة الحيوية في لحواض للتفاعل.

$$F / M = \frac{KgBOD / d}{KgM} \quad (3)$$

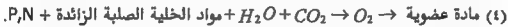
(Aerobic Processes)

٢. العمليات الهوائية:

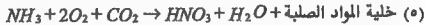
أساسيات المعالجة الهوائية:

يوجد نوعين من العمليات الهوائية لمعالجة مياه الصرف الصناعي وهما نظام النمو العالق (Suspended Growth) أو للحماة المنشطة (Activated Sludge).

ونظام الطبقة الثابتة (Fixed Film). في العمليات الهوائية يستخدم الهواء، أو الهواء الغني بالأكسجين لتوفير الأكسجين لمزرعة الكائنات الدقيقة العالقة في حوض التفاعل أو التي تكون ثابتة في مكانها على مجال صلب الذي يكون موجوداً خلال حوض التفاعل. يوجد اثنين من التفاعلات البيولوجية الأساسية لعمل وأداء عمليات المعالجة الهوائية. وهما إزالة الكربون، وإزالة مواد الغذاء (Carbon Removal and Nutrient Removal). المواد الكربونية العضوية مثل الدهون- البروتينات - للكربوهيدرات، الأحماض العضوية، الكحولات والمواد الأكثر تعقيداً يتم تحليلها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة لإنتاج ثاني أكسيد الكربون، الماء، مواد الخلية الصلبة زائدة (Excess Cell Solids) أو



الكمية الصافية من المواد العضوية التي تحولت إلى مواد الخلية الصلبة الزائدة تختلف خلال مختلف أنواع المواد العضوية ولكن عادة تتراوح من ٠,٣ إلى ٠,٤ كيلو جرام من المواد الصلبة المتطايرة العالقة VSS لكل كيلو جرام من الحمل العضوي البيولوجي BOD الذي يتحول والذي عادة يزال في شكل مخلفات الكتلة الحيوية (Waste Biomass). الزائد من المواد الغذائية- النيتروجين والفوسفور. عادة يتطلب معالجة تالية لازلتهم ولتجنب الآثار السلبية على الكائنات المائية التي تعيش في المياه المستقبلية، النيتروجين في مياه الصرف الصناعي يوجد عادة في شكل نيتروجين الأمونيا أو مادة عضوية والذي يتحلل بالماء (Hydrolyze) لإطلاق نيتروجين الأمونيا. يتحول أمونيا النيتروجين إلى النترات بعملية النترجة (Nitrification) طبقاً للتفاعل التالي.



هذا التفاعل يوفر الطاقة لكائنات النترجة لتتم باستخدام ثاني أكسيد الكربون كمصدر للكربون لتخليق الخلية. إنتاج الزائد من المواد الصلبة البيولوجية بواسطة كائنات النترجة يتراوح من حوالي ٠,١ إلى ٠,٢ كجرام من المواد الصلبة المتطايرة لكل كيلو جرام من نيتروجين الأمونيا الذي تحول (N-NH₃ Converted). الظروف البيئية لتفاعلات النترجة تكون أكثر حرجاً عنه لنظم إزالة المواد العضوية. أفضل (pH) هو حول ٧,٥ إلى ٨ وأفضل درجة حرارة هي من ٣٠ إلى ٣٥°م ولكن بالمحافظة على استمرار تركيز الأكسجين المذاب حول ٣-٤ ملجرام / لتر، فإن النترجة يمكنها أن تستمر عند درجات حرارة منخفضة حتى ٥°م وعند مستويات (pH) ما بين ٧ إلى ٧,٥.

النترات الناتجة يمكن استعادتها بالأزالة البيولوجية للنترجة (Biological Denitrification).

أو (٦) خلايا زائدة $CO_2 + H_2O + N_2 +$ مادة عضوية HNO_3

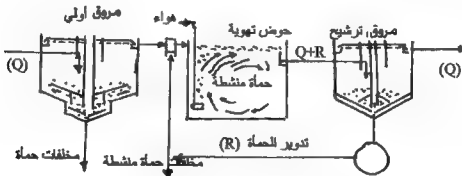
تفاعلات إزالة النترجة تنتج حوالي ٠,٢ إلى ٠,٣ جرام من المواد الصلبة العالقة المتطايرة (VSS) لكل جرام من N^- الذي تم تحويله. أفضل رقم هيدروجيني (pH) هو من ٦,٥-٧، وتركيز الأكسجين المذاب يجب أن يكون قريباً من الصفر.

لذلك، فإن يكون من الصلب الحصول علي النترجة وإزالة النترجة في نفس الوقت. ولكن العمليات الهوائية/اللاهوائية المشتركة يمكن استخدامها في إزالة النيتروجين بكفاءة. الفوسفور يزال بالوسائل البيولوجية أو الكيماوية أو بالجمع بينهما.

بدائل النظم الهوائية: Aerobic Systems Alternatives

١. أشكال عملية الحماة المنشطة التقليدية:

النمو العالق أو نظم الحماة للمنشطة تتكون من بعض أنواع المعالجة المسبقة والتي يلويها حوض التهوية والوحدة النهائية لفصل المواد الصلبة. شكل (٤٣/١). المعالجة المسبقة تتم بغرض إزالة المواد الصلبة العالقة ذات الأحجام الكبيرة والتي يمكن أن تتدخل مع الظواهر الميكانيكية في عدة المعالجة البيولوجية أو لخفض الحمل العضوي المنقول إلى حوض التهوية. حوض التهوية يحتوي علي الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بتحليل المكونات العضوية في مياه الصرف. يستخدم المروق النهائي أو أي نوع آخر من تجهيزات فصل المواد الصلبة، مثل الطفو أو الأغشية لمنع الفقد في الكائنات الحية الدقيقة مع المنصرف (Effluent)، وجزء من الكائنات الدقيقة المزالة قد يعاد تدويره لزيادة زمن المكوث للمواد الصلبة (Solids) خلال المفاعل البيولوجي.

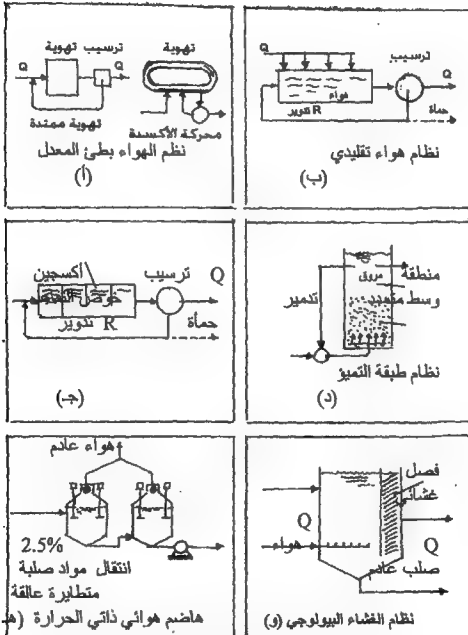


شكل (٤٣/١) مخطط لعملية الحماة المنشطة بالمروق الأول والثاني

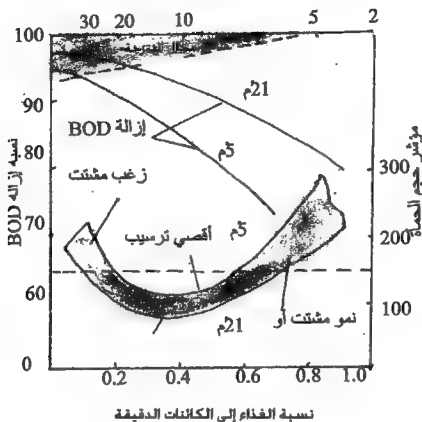
استخدام عدد من أشكال نظم الحماة المنشطة لمعالجة المخلفات الصناعية، ومعظم تلك موضح في الشكل (٤٣/٢). إختيار الشكل لاستخدام معين يتطلب مراعاة عدة عوامل بما فيها متطلبات التشغيل للنظام، متطلبات الطاقة للتهوية، معالجة الحماة والتخلص منها، والتكاليف الرأسمالية. العامل الرئيسي للحاسم والمحدد لنوع النظام وحجم لمفاعيل هو

معدل التحميل العضوي وزمن المكوث الناتج للمواد الصلبة. الجدول (٤٣/١) يلخص تلك المعايير لمعظم أشكال العمليات.

تم استخدام العديد من أشكال العملية السابقة لمعالجة مياه الصرف الصناعي، مثل تلك الأشكال تشمل نظم الحماة المنشطة ذات المرحلتين، والجمع بين نظم الطبقة الثابتة والنمو العالق. العلاقة بين تصميم النظام ومعايير التشغيل وأداء الإزالة للحمل العضوي تم تلخيصه في الشكل (٤٣/٣).



شكل (43/2) مخطط لبدائل عملية المعالجة البيولوجية الهوائية

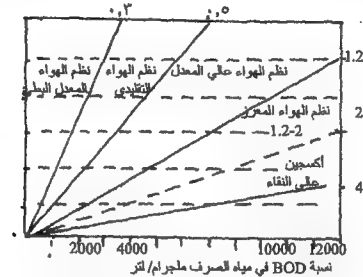


شكل (43/3) العلاقة بين معيار تصميم السمية الهوائية وكفاءة الإزالة للحمل العضوي BOD

كما هو موضح فإنه أفضل أداء يحدث عندما تكون العملية عند نسبة الغذاء إلي الكائنات الدقيقة (F/M) حول من ٠,٤ جرام BOD/جرام من المواد الصلبة المتطايرة. اليوم (0.4 BOD/gvss-d) وأزمة المكوث للمواد الصلبة ١٠ أيام. العمل عند نسب أقل ما بين الغذاء والكائنات الدقيقة (F/M) أو زمن مكوث أطول يصاحبه نظم المعدل المنخفض، والذي يسمح بأكبر كفاءة لإزالة BOD وتوفير الظروف المناسبة للنترجة (Nitrification). مع زيادة نسبة (F/M) وانخفاض زمن المكوث للمواد الصلبة (SRT-Solids Retention Time)، فإن الكفاءة تقل، قابلية للترسيب للمواد الصلبة للسائل المخلوط تتلف، والنترجة تصبح ذات احتمال ضعيف، بينما للعمل عند نسب (F/M) أعلا من (١) يكون ممكناً، مثل هذه الحالات نادراً ما تستخدم لأغراض التصميم عدا في حالة استخدام عملية المعالجة كمرحلة أولى لنظام متعدد المراحل أو للاستخدام للمعالجة الممبقة قبل الصرف إلي نظام الصرف الصحي.

زمن المكون للعالي لا يستخدم كمعيار تصميمي رئيسي لمياه الصرف الصناعي لأن حجم النظم لمعالجة مياه الصرف عالية التركيز يكون محكم الحمل. زمن المكوث الهيدروليكي يكون عندئذ ناتج التصميم ويصبح.

(٧) زمن المكث الهيدروليكي HRT - BOD جرام/لتر
 OLR جرام/لتر
 العلاقة بين زمن المكث الهيدروليكي (HRT)، الحمل العضوي لمياه الصرف (BOD) ومعدل التحميل العضوي (OLR) موضح في الشكل (٤/٤٣)، لمعظم أشكال العمليات الهوائية.



شكل (43/4) العلاقة بين تركيز BOD في مياه الصرف وزمن المكوث الهوائي، لنسبة معدل التحميل العضوي، لحدائل عملية المعالجة

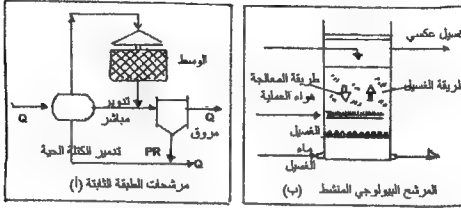
المحملة خلال حوض التهوية. هنا لوسط المثبت يوفر حامل لكثلة حيوية إضافية، بدأ يسمح باستخدام أحمال حجمية أعلا وزمن مكوث للمواد الصلبة كافي لإعطاء الأداء الكافي للمعالجة المطلوبة، معظم تلك العمليات تم تسجيله والمعلومات التي نشرت عن التصميم وحدود الاستخدام قليلة جداً. أحد البدائل لعمليات النمو للطبقة الثانية/النمو العالق المختلطة هو إضافة الكربون المنشط إلي السائل المثبت. في هذه الحالة، الكربون يعمل علي امتصاص الكيماويات العضوية السامة وتوفير للسطح الطبيعي لحمل النمو البيولوجي.

جدول (٤٣/١) موجر لمعايير التصميم والتشغيل
للعمليات الهوائية لمعالجة مياه الصرف الصناعي

المعيار	نظم الهواء بالمعدل المنخفض	النظم الهوائية التقليدية	نظم المعدل العالي للهواء	نظم المعدل العالي المعزز	أكسجين عالي الفقاء	النظم المشتركة للنمو العالق والطبقة الثابتة	نظم الوسط المثبت
• معدل التحميل العضوي كجرام/م ³ /يوم	٠,٣-٠,١	٠,٦-٠,٣	١,٢-٠,٦	٢-١,٢	٤-١,٢	١,٥-٠,٦	١-٠,٥
• نسبة الغذاء الي الكائنات الدقيقة KgBOD/KgVSS	٠,٢-٠,١٥	٠,٤-٠,٢	١,٥-٠,٤	٥-١,٥	١٠-٠,٢٥	٠,٥-٠,٢	N/A
• زمن المكث للمواد الصلبة بالأيام SRT	٣٠-٢٠	١٥-٥	٦-٢	٤-١	٨-٣	١٥-٦	١٠-٥
• المواد الصلبة المتطايرة للمائل الخلوط ملجرام/لتر (MLVSS)	١-١٠٠	٣٠٠-١٠٠٠	١-١٠٠	٣٠٠-١٠٠٠	٩٠٠-٣٠٠٠	٥٠٠-٢٠٠٠	٥٠٠-١٠٠٠ (مقدن)
• كفاءة الإزالة الكلية للحمل العضوي BOD	٩٥-٧٥	٩٥-٨٥	٩٥-٧٠	٩٥-٦٠	٩٥-٨٥	٩١-٧٥	٩٠-٨٠
بدائل العملية	التهوية الممتدة أحواض الأكسدة برك التهوية	نظام التهوية التقليدي والتهوية علي مراحل التهوية بالتناقص التدريجي	برج عميق التثبيت بالاتصاق	نظام الحوض العميق المعالجة الهيدروليكية المسبقة	أحواض التفاعل علي التوالي	• المجال العالق طبقات التخمير • نظم الكريون النقط	الأبراج حيث الوسط من البلاستيك أبراج الشعيرات

عمليات الطبقة المثبتة الخاصة: Pure Fixed Film Processes

عمليات الطبقة المثبتة الخاصة للاستخدام في معالجة مياه الصرف الصناعي -
عموماً تأخذ شكل الأبراج المحتوية على وسط بلا ثابت له مساحة سطحية حوالي ١٠٠
متر مربع/المتر المكعب شكل (٤٣/٥) شكل (٤٣/٦).



شكل (43/5) مخطط ليدل على عملية المعالجة البيولوجية بالوسط ثابت



في هذه الحالة، يتم حقن مياه الصرف إلى أعلا البرج باستخدام الموزع الثابت أو الدوار والذي يسيل إلى أسفل فوق سطح الوسط. للكائنات الحية الدقيقة الملتصقة بالوسط تقوم بتحليل المكونات العضوية لمياه الصرف مع مرورها خلال البرج. معايير التصميم والتشغيل لهذه العمليات تم تلخيصها في الجدول (٤٣/١). ميزة عمليات الطبقة المثبتة هي سهولة التشغيل وقلة متطلبات الطاقة. للعمليات تشمل معدلات التحميل المنخفضة والأحجام الكبيرة للمفاعل، تجريد الكيماويات العضوية المتطايرة (Stripping)، وإطلاق روائح. التطوير الحديث في عمليات الطبقة المثبتة هو المرشح البيولوجي المنشط (Biological Activated Filter) للتطوير الجديد هو بمرور مياه الصرف إلى أعلا أو إلى أسفل خلال وسط حبيبي شكل (٥-ب). تراكم الكائنات الحية الصغيرة في طبقة الوسط يوفر زمن المكوث للمادة الصلبة (SRT) للضروري للمعالجة. يتم غسل الوسط من آن إلى آخر لإزالة الكتلة الحيوية الزائدة.

عملية النتجة إزالة النتجة لإزالة النيتروجين:

Nitrification Denitrification Processes For Nitrogen Removal:

تستخدم العمليات الهوائية/اللاهوائية معاً عندما يكون المطلوب إزالة النيتروجين تلك العمليات تتكون من مرحلتين أو أكثر من التفاعل كما هو موضح في الشكل (٧-١).

مفاعلات طبقة التميؤ: (Fluidized Bed Reactors)

مفاعلات طبقة التميؤ تحوي نوع من العمليات الذي فيه يكون نمو الكتلة العضوية (Biomass) على سطح الوسط الحبيبي، النموذجي من ٠,١ إلى ٠,٥ ملليمتر للقطر، مثل الرمال، الفحم المسحوق، الكربون المنشط الشكل (٢-٣).

محتويات المفاعل تظل في حالة تميؤ بتكوين المنصرف بمعدلات كافية بحيث أن تكون سرعة التدفق إلى أعلا خلال المفاعل تساوي سرعة الترسيب لحبيبات الوسط الحامل والكتلة الحيوية المتصقة. مفاعلات طبقة التميؤ يمكنها تراكم تركيزات عالية من الكتلة الحيوية وبذا تعمل عند معدلات تحميل عضوي عالي.

السلبيات الرئيسية هي التكلفة العالية للطاقة المصاحبة لاستمرار حالات التميؤ، معدل الانتقال العالي للأكسجين المطلوب وتعقيدات تجهيز توزع دخول مياه الصرف.

عمليات أخرى للنمو العالق: Other Suspended Growth Processes

التطوير الحديث الواعد نحو معالجة مياه الصرف الصناعي عالية التركيز وصعوبة المعالجة والذي يتضمن الهضم الهوائي بالحرارة الذاتية ، Autothermal ATAD-Aerobic Digestion الشكل (٢-٤)، وللتحلل الحراري والكيميائي قبل المعالجة الهوائية البيولوجية، عملية الأكسدة المتقدمة مثل الأشعة فوق البنفسجية، الأوزون، ثاني أكسيد الهيدروجين، أو مجموع تلك العمليات ، استخدم كذلك للمعالجة المسبقة للمخلفات الصناعية قبل المعالجة البيولوجية. مثل هذه العمليات يمكن أن تكون مفيدة لتعزيز التحلل البيولوجي للمكونات العضوية السامة أو التي تقاوم التحلل البيولوجي.

بعض العمليات البيولوجية يتضمن استخدام مصفوفات الغشاء لفصل الكتلة الحيوية من التدفقات شكل (٢-٥). ميزة شكل هذه العملية هي أن التركيزات العالية جداً للكتلة الحيوية يمكن الحصول عليها بحيث أن معدلات التحميل العضوي وازمنة للمكوث للمواد الصلبة تكون عالية . التحديات تشمل استمرار المعدل العالي لانتقال الأكسجين وضع تراكم العفن على الغشاء.

العمليات المشتركة للطبقة الثابتة / النمو العالق:

Combined Fixed Film/Suspended Growth Processes:

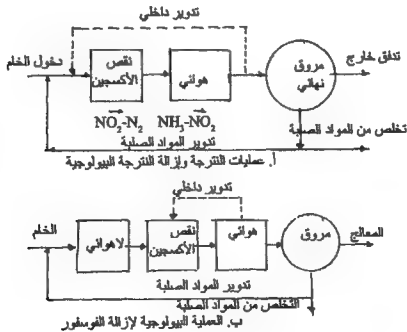
عدد من التطوير الحديث يشمل إضافة وسط مثبت (Fixed Media) إلى نظام الحماة المنشطة. مثل هذا الوسط يشمل حبيبات بلاستيك صغيرة ذات أقطار من ٦ إلى ١٠ ملليمتر أو عدة ألواح من البلاستيك المثبتة أو حبال الشعيرات معظم دالة المعالجة تحدث

في المناطق الهوائية، حيث الملوثات العضوية يتم تحللها وتتم أكسدة النيتروجين خلال النترجة، السائل المخروط الهوائي ذو التركيز العالي للنترات يتم تدويره خلال المنطقة ذات التركيز المنخفض من الأكسجين (Anoxic Zone) علي رأس الوحدة حيث النترات في تدفقات التدوير يتم إختزلها إلي النيتروجين الغاز كما هو موضح في المعادلة رقم (٦)، عدد من الأشكال المسجلة لعمليات النترجة/إزالة للنترجة متاح حالياً.

الإزالة البيولوجية للفوسفور:

مجموعة وحيدة من البكتريا هي القادرة علي تراكم الفوسفور بكميات تزيد عن متطلبات الأيض (Metabolic)، وبذا يمكن من إزالة هذه للعنصر بالوسائل البيولوجية. هذا التفاعل يتم بتدوير الكتلة الحيوية في النظام خلال المنطقة اللاهوائية في المقطع الأول لوحدة المعالجة شكل (٧ب). المنطقة اللاهوائية هذه تعمل كذلك كحوض تخمر لكسر المواد العضوية القادمة إلي مواد بسيطة وبسيطة.

أملاح الفوسفات تنطلق في المنطقة اللاهوائية وتستهلك في المنطقة الهوائية تحت التيار لتكوين كتلة بيولوجية غنية بالفوسفات. يتم عندئذ التخلص من الفوسفور مع الزائد من تدفقات المواد الصلبة. الأداء الناتج لعمليات إزالة الفوسفور البيولوجية تتطلب نسب BOD إلي الفوسفور تزيد عن ٢٠ إلي واحد مع إحكام وتدقيق النسبي لتتالي التفاعلات الهوائية/اللاهوائية. في بعض الحالات كميات صغيرة من أملاح الشبة أو الحديد يتم إضافتها إلي مدخل المروق النهائي لتعزيز الإزالة للفوسفور. عدد من البدائل متاح للإزالة البيولوجية للفوسفور.

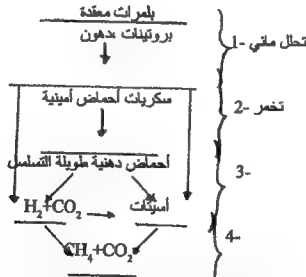


شكل (٤٣/٧) مخطط البدائل لعمليات الإزالة لمواد الغذاء

٢. المعالجة اللاهوائية: Anaerobic Treatment

أساسيات المعالجة اللاهوائية:

الهضم اللاهوائي هو من التقنيات المعروفة لخفض الكتلة والحجم للحماة من محطات المعالجة الهوائية ومعالجة مياه الصرف الصناعي. العمليات اللاهوائية تتضمن تحويل المادة العضوية في مياه الصرف إلى الميثان وثاني أكسيد الكربون خلال سلسلة من التفاعلات التي تشمل اتحاد تعايشي للكائنات الحية الدقيقة الاختيارية والمجبورة (Facultative and Obligate) كما هو موضح في الشكل (٨) فإن مكونات المخلفات العضوية المعقدة، النشاء، الأحماض الدهنية، البروتينات، الكحوليات، الكيماويات العضوية المعقدة.. إلخ تتحول إلى أولا خلال التحلل بالإنزيمات إلى مواد بسيطة مذابة ذات وزن جزيئي أقل مثل السكريات، للكحوليات، الأحماض الأمينية. تلك المواد المذابة يتم تحويلها بعد ذلك خلال تفاعلات التخمر لتكوين الأحماض العضوية. الكائنات الحية الدقيقة (Acetogenic) هي التي تحول الأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئي العالي إلى حامض الأسيتيك زائد الهيدروجين في الشكل الحر أو المتحد، الهيدروجين وحامض الأسيتيك هما المادة الأولى التي تتشكل منها مادة أخرى (Primary Precursors) إلى المنتجات النهائية الميثان وثاني أكسيد الكربون. غاز الميثان هذا لديه الطاقة التي تمكن من تسخين الهاضم لتحسين كفاءة المعالجة أو لإنتاج الطاقة الكهربائية. الميزة الرئيسية للمعالجة اللاهوائية هي الكمية الصغيرة من الكتلة الحيوية الزائدة التي تنتج خلال التحلل البيولوجي. الإنتاج النهائي يكون منخفضا حتى ٢ كجرام من المواد الصلبة العالقة المتطايرة لكل كيلو جرام إزالة من الحمل العضوي ليس اقتصاديا.

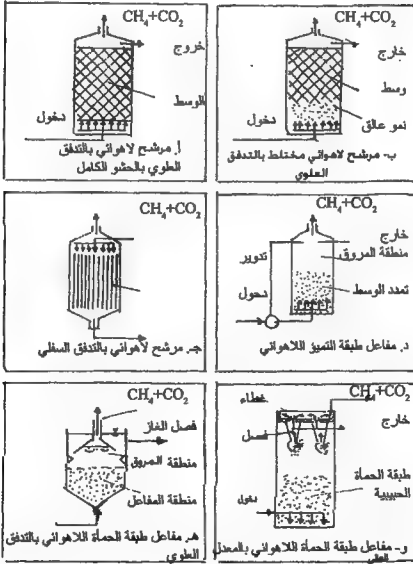


شكل (٨/٤٣) موضح لتوضيح خطوات الأيض الأساسية في المفاعلات اللاهوائية لتحلل المخلفات العضوية

بدائل عملية الطبقة الثابتة اللاهوائية:

Alternatives of Anaerobic Fixed Film Process

وتم تطوير مفاعلات الطبقة المثبتة في ١٩٦٨ حيث أصبحت تمثل التقنية المتقدمة التي استخدمت بكفاءة في معالجة العديد من المخلفات الصناعية. تم تطوير العديد من المتغيرات والتي شملت المرشحات اللاهوائية بالتدفق العلوي تامة للتحمية (Full Packed) ، المرشحات اللاهوائية بالتدفق العلوي للمهجنة (Hybrid) المرشحات اللاهوائية بالتدفق السفلي، مفاعلات طبقة التميؤ ومفاعلات طبقة الحماة بالتدفق العلوي شكل (٤٣/٩) تلك العمليات مناسبة جداً لمعالجة مياه الصرف الصناعي عالية التركيز وذات تركيز أكسجين كيميائي مطلوب COD يزيد عن ٣٠٠٠ ملجرام/لتر.



شكل (43/9) مخطط لبدائل عملية الطبقة الثابتة اللاهوائية

مفاعلات الطبقة الثابتة هي أساساً عمليات إتصاق حيث تمر المخلفات فوق أو خلال كتلة من المواد الصلبة البيولوجية المحتواه خلال المفاعل، والتي تكون ملتصقة مع أسطح المجال في شكل طبقة بيولوجية رقيقة، محتجزه خلال مادة الوسط، أو عالقة كتلة بيولوجية محببة أو في شكل زغبات خلال المفاعل للوسط أو تجهيز فصل الغاز-المادة الصلبة. المركبات العضوية المذابة التي تمر قريباً من تلك الكتلة البيولوجية تنتسرب خلال أسطح المواد الصلبة للملتصقة أو المحببة، حيث تتحول تلك المركبات إلى مواد وسيطة ثم إلى منتجات نهائية وبالتحديد الميثان وثاني أكسيد الكربون شكل (٨). معايير التصميم والتشغيل لمفاعلات الطبقة المثبتة اللاهوائية المستخدمة في معالجة مياه الصرف الصناعي تم إيجازها في الجدول (٤٣/٢).

جدول (٤٣/٢) موجز لمعايير التصميم والتشغيل
للعمليات اللاهوائية لمعالجة مياه الصرف الصناعي

المعيار	مرشح لاهوائي تدفق علوي تام الحشو	مرشح لاهوائي تدفق علوي مولد	نظم الوسط الثابت من مجالين	مرشح لاهوائي بالتدفق السطحي	مفاعل طبقة الحماة اللاهوائي تدفق علوي	مفاعل طبقة التخمير اللاهوائي	مفاعلات الطبقة الثابتة الحرارية
• معدل التحميل العضوي كجرام COD/م ^٢ /يوم	٨-٤	١٢-٨	٦-٢	١٢-٨	١٢-٨	١٦-١٢	١٦-٨
• نسبة F/M كجرام COD/كج من VSS	١-٠,٥	١-٠,٥	١-٠,٥	٠,٥-١,٣	١-٠,٥	١-٠,٥	4-2
• زمن المكوث بالأيام	١٠٠-٣٠	٢٠٠-٥٠	٣٠٠-٨٠	٣٠-٢٠	٣٠-٢٠	٥٠-٣٠	٣٠-٢٠
المواد الصلبة العالقة المتطايرة في السائل المخلوط	١٠٠٠٠-٣٠٠٠	١٠٠٠٠-٤٠٠٠	٣٠٠٠٠-٤٠٠٠	١٠٠٠٠-٢٠٠٠	٢٠٠٠٠-٣٠٠٠	٧٠٠٠٠-٤٠٠٠٠	٥٠٠٠-٢٠٠٠
إجمالي COD كفاءة الإزالة %	٩٠-٨٠	٩٨-٨٥	٩٨-٨٥	٩٠-٧٠	٩٥-٨٥	٩٠-٨٠	٩٥-٨٥

المرشحات اللاهوائية بالتدفق العلوي:

المرشحات اللاهوائية تتكون من أحواض مستديرة ومستطيلة لها وسط مثبت محتجز خلال المفاعل. الأحجام للمفاعلات تتراوح من ١٠٠ إلى ٢٠٠٠ متر مكعب ارتفاعات الوسط تتراوح ما بين العمق الكامل (المرشح اللاهوائي بالحشو الكلي شكل (٩-١) إلى الوضع في ما يقرب من ٥٠% إلى ٧٠% من ارتفاع المفاعل (المرشح اللاهوائي المولد (Hybrid) شكل (٩-ب)). الكتلة الحيوية في هذا المفاعل.

تحتجز في شكل طبقة حماة حيوية أو طبقة من زغب الحماة في المستويات السفلي للمفاعل وملتصقة بالوسط في المستويات العليا. توزيع الكتلة الحيوية يختلف طبقاً للتصميم، نوع الوسط، وطريقة للتشغيل.

المرشحات اللاهوائية بالتدفق السفلي:

استخدمت المرشحات اللاهوائية بالتدفق السفلي لمعالجة مياه الصرف الصناعي ذات تركيزات أكسجين كيميائي مطلوب (COD) من ١٥٠٠٠ إلى ٨٥٠٠٠ ملجرام/لتر شكل (٩-ج). يتضمن شكل المفاعل ، أحواض أسطوانية تتراوح في الحجم من ٦٠٠ إلى ٤٠٠٠ متر مكعب. عموماً الوسط يملأ المفاعل باستثناء مناطق للتوزيع للضخمة والتجميع. للكتلة الحيوية النشطة في مفاعلات للتدفق السفلي يتم احتجازها غالباً وتحديد كطبقة حيوية (Biofilm) ملتصقة بالوسط (Media). نسب للتكوين العالية يتم استخدامها في مفاعلات للتدفق السفلي لتعظيم الالتصاق بين مكونات المخلفات والكتلة الحيوية الملتصقة.

المفاعلات اللاهوائية لطبقة التميؤ:

Anaerobic Fluidized Bed Reactors

المفاعلات اللاهوائية بطبقة التميؤ تعتمد على حجز تركيز عالي للكتلة الحيوية العالق مقابل سرعة تدفق كبيرة إلى أعلا بكل من وزن وسط الحبيبات والكتلة الحيوية الملتصقة شكل (٩-د). للوسط المستخدم يتراوح ما بين الدياتومي (Diatomaceous Earth) إلى الرمل ، حيث قطر الحبيبات يتراوح من ٠,١ إلى ٠,٥ ملمتر. ولكن القليل من هذه المفاعلات الذي يستخدم حالياً، يتم تدوير السائل المنصرف ليستخدم لتوفير سرعة التدفق العلوي اللازمة لتطويق وتمدد وسط الكتلة الحيوية بحيث أن صافي زمن المكوث الهيدروليكي قد يكون أقل من ساعة واحدة. عموماً مفاعلات طبقة التميؤ تكون ذات نسبة عالية بين كل من الارتفاع والقطر مقارنة بأشكال المفاعل اللاهوائي بالطبقة المثبتة لتحسين التوزيع للتدفق الأفقي وخفض معدل للتدوير.

مفاعلات طبقة الحماة اللاهوائية بالتدفق العلوي:

Up Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactors:

مفاعلات طبقة الحماة بالتدفق العلوي اللاهوائية تحتجز المواد الصلبة البيولوجية في شكل حبيبات أو في شكل خلايا منمجة من الحبيبات أو الزغابات التي تكون كبيرة

وكثيفة بما يكفي لترسب مقابل سرعة التدفق العلوي شكل (٩-هـ). لا يستخدم وسط الجسيمات لوزن الحبيبات، ولكن مواد الجسيمات الموجودة طبيعياً في سائل المخلفات الدائل يمكن أن يتم حجزها خلال الكتلة الحيوية، وبذا، مساعدة عملية الترويب والتحبب. أشكال المفاعل يمكن أن تكون أسطوانية أو مستطيلة، يتراوح حجم المفاعل من ٣٠ إلى ٥٥٠٠ متر مكعب. التطوير الحديث تضمن تطوير نسبة الارتفاع إلى القطر شكل (٩-س). تلك النظم تصبح مفاعلات طبقة تميو بدون عامل وزن. نجاحها يتطلب حدوث تحبيب للكتلة الحيوية ونظام فصل عالي الكفاءة لكل من المواد الصلبة. السائل - الغاز.

مفاعلات المرحلتين: Two Stage Reactors

بعض الانشاءات تستخدم مفاعلات من نوع الطبقتين المثبتين (2Fixed - Film)، علي التوالي، حيث التحصن في كفاءة الإزالة للأكسجين الكيماوي المطلوب (COD) مقارنة بالمفاعلات ذات المرحلة الواحدة التي تعمل عدد نفس زمن المكث الهيدروليكي ولكن في شكل دوري أي بالتغير العكسي من أن إلى آخر لكل من المفاعلات الدليل والتالي- منتجاً انخفاضاً كبيراً في الانتاج الزائد من المواد الصلبة. أحد الانواع لمفاعلات المرحلتين يستخدم المرحلة الأولى كمفاعل تحلل (Hydrolysis) والثاني يصمم لتعظيم إنتاج الميثان.

علاقات الأداء: (performance Relationships)

لا يوجد نموذج شامل لتصميم أو استنتاج الأداء لأي نوع من المفاعل اللاهوائي بالطبقة المنبثقة، ولكن عدد من عوامل معينة أظهرت للتأثير علي طاقة التحميل وكفاءة الإزالة للأكسجين الكيماوي (COD).

نوع المخلفات:

خصائص مياه الصرف تؤثر علي نجاح أو فشل عمليات معينة، عمليات الطبقة الثابتة يبدو أنها مناسبة جداً لمعالجة مكونات المخلفات ذات الانتاج المنخفض (Low yield) بينما المفاعلات اللاهوائية بالتدفق العلوي ذات طبقة الحماة، تكون مناسبة جداً لمعالجة المخلفات ذات الإنتاج العالي للحبيبات (Granules). ولكن، مع الاختيار المناسب لمعدل التحميل العضوي وظروف التشغيل، فإن كل نظام يمكنه معالجة أي نوع من مياه الصرف ولكن لا يكون الأداء عند أقصى كفاءة في حالة عدم وجود الخبرة السابقة نحو معالجة مياه صرف معينة، فإنه يوصي بعمل اختبارات قابلية للمعالجة.

للتغير في تركيز المخلفات المتدفقة أكثر من ٣٠٠٠ ملجرام COD/لتر لم تحقق تأثير واضح علي كفاءة الإزالة للحمل الكيماوي (COD) لمرشحات التدفق العلوي اللاهوائية التي تعمل عدد زمن مكوث هيدروليكي عالي (HRT) - مياه الصرف ذات تركيزات (COD) أقل من ١٥٠٠ ملجرام/لتر تمت معالجتها في مفاعلات لاهوائية بالطبقة الثابتة، ولكن تلك المفاعلات يجب أن تعمل عند معدلات تحميل منخفضة لتحقيق كفاءة إزالة للحمل الكيماوي (COD) بطريقة مرضية. أخيراً المواد الصلبة العالقة المنتشرة في تدفقات مياه الصرف لا تتسرب نحو الطبقات البيولوجية (Biofilms) خلال مفاعلات الطبقة

الثابتة وعموماً لا تحتجز في مادة ترابط الكتلة الحيوية (Biomass Matrix). لذلك، مثل تلك المواد للصلبة العالقة تمر مباشرة خلال المفاعلات مع القليل من المعالجة أو بدونها. مياه الصرف المحتوية علي كميات كبيرة من المواد للصلبة القابلة للترسيب قد تسبب تراكمًا زائدًا للمواد الصلبة في مفاعلات التدفق العلوي، وبذلك يلزم زيادة معدلات المخلفات التي يمكن أن تقلل من زمن المكث الاستاتيكي المؤثر (SRT). الظاهرة التي لوحظت مع المرشح اللاهوائي بالتدفق السفلي هي قدرته علي قبول مخلفات ذات تركيزات من المواد الصلبة مرتفعة حتي ٤% بدون علاقة نحو التراكم الزائد من المواد الصلبة.

نوع وخمائص الوسط: (Media Type and Characteristics)

الوسط في مفاعلات الطبقة الثابتة اللاهوائية يساعد في توفير التدفق المنتظم خلال المفاعل، وتحسين الالتصاق بين مكونات المخلفات والكتلة الحيوية الموجودة في المفاعل، وتسبب التراكم لكميات كبيرة من الكتلة الحيوية اللازمة لتوفير زمن مكث طويل اللازم لمعالجة المخلفات الصناعية المعقدة. الأوساط التجارية المتاحة للاستخدام في المرشحات اللاهوائية تشمل حلقات الحشو (Pall Rings)، أو ما شابه من وسط الملء، وسط مكون من مسطحات البلاستيك المتعرجة للشكل (١).

القنوات في الوسط المموج يمكن أن تكون أنبوبية بما لا يسبب حدوث تدفق عرضي خلال ارتفاع الوسط، بما يمكن من حدوث التدفق المتقاطع عند نقط الاتصال خلال وصلات الوسط.

كمية الوسط المستخدمة في المرشحات التدفق العلوي المختلطة اللاهوائية تكون إلي حد ما فاعلة. نظراً لأن النمو علي أسطح الوسط يوفر إزالة جيدة للحمل الكيماوي (إزالة COD)، ونظراً لأن الوسط يساعد في ترويب المواد الصلبة البيولوجية، فإنه توجد حدود نحو كيفية استخدام القليل من الوسط. العامل الحاسم هو النسبة بين الوسط إلي الارتفاع، والمفاعلات ذات ٧٠% أو أقل من الحجم المشغول بالوسط له فقد زائد في الكتلة الحيوية وخفض في الكفاءة.

الوسط المستخدم في المرشحات اللاهوائية بالتدفق العلوي بالكامل يكون بمتوسط ١٠٠ متر مربع/المتر المكعب (٣٠ قدم مربع/القدم المكعب) بصرف النظر عن نوع الوسط. يتم اكتساب تحسن في كفاءة الإزالة للحمل الكيماوي (COD) بنسبة تقل عن ٥% في حالة ما يزيد عن مضاعفة المساحة السطحية النوعية. لذلك، فإنه يبدو أن التكاليف الإضافية للوسط عالي الكثافة لا يمكن تبريرها. كما أظهرت البيانات الريادية والتجريبية انخفاض الكفاءة للوسط الأنبوبي والمفكك مقارنة بالوسط المتقاطع.

انسداد الوسط كان من المشاكل للمرشحات اللاهوائية بالتدفق العلوي، ولذلك استخدمت طرق غسيل ودفق المواد الصلبة من أن إلي آخر في حالة الوسط المفكك، لا توجد شواهد نحو الانسداد للوسط بالتدفق المتقاطع أو الأنبوبي حيث المساحة السطحية نوعية ٢٠٠ متر مربع/المتر المكعب.

زمن المكوث الهيدروليكي كعامل كفاءة:

Hydraulic Retention Time As A Performance Factor:

يعتبر زمن المكوث للمواد الصلبة عامل رئيسي لتصميم كل عمليات الطبقة المتأينة، ولكن، فإنه من الصعب إحكام مخزون الكتلة الحيوية والتوزيع خلال مفاعلات الطبقة المثبتة، لذلك، يكون من الصعب الحصول على البيان اللازم لحساب زمن المكوث للمواد الصلبة بأي درجة من الدقة. زمن المكوث الهيدروليكي أظهر أنه العامل الوحيد الهام ذو التأثير على كفاءة المعالجة للمرشحات اللاهوائية بالتدفق العلوي، مع إزالة الحمل الكيماوي (COD) متغير بالنسبة لزمن المكوث الهيدروليكي طبقاً للمعادلة التالية:

$$Eff = 100(1 - HRT^{-m})$$

حيث: m = معامل يتراوح من ٠,٥ إلى ١ طبقاً للعملية التي تطبق فيها المعادلة .

Eff = المنصرف.

HRT = زمن المكث الهيدروليكي.

سرعة التدفق العلوي خلال مفاعلات التدفق العلوي بالطبقة المثبتة يعتبر عاملاً هاماً ذو علاقة بزمن المكث الهيدروليكي. سرعة التدفق العلوي يجب أن تكون دون النقطة التي يحدث عندها غسيل وخروج زائد للمواد الصلبة. أقصى سرعة تصميمية للتدفق العلوي للمرشح اللاهوائي ومفاعلات طبقة الحماية اللاهوائية بالتدفق العلوي، بما فيه تدفق التدوير يكون في المجال النموذجي حوالي ٢ متر / الساعة، والذي يقابل صافي زمن المكث الهيدروليكي ٥ ساعات في المفاعل بطول ١٠ متر، ولكن أقصى سرعة تدفق عملية تكون بدلالة كثافة الكتلة الحيوية للعلاقة ودرجة التحبيب. يجب المحافظة على سرعات التدفق العلوي لتكون منخفضة عند البداية لخفض غسيل المواد الصلبة وخروجها قبل تحبيب الكتلة الحيوية تماماً. ولكن هذا الوضع يتعارض مع الحاجة للمعدلات العالية للتدوير خلال البدء لخفض مشاكل أخرى مع التحكم في الرقم الهيدروجيني (pH) وتوزيع مياه الصرف المتدفقة. سرعة التدفق العلوي يجب أن تكون في حدود ٠,٥ متر / الساعة خلال البدء. معدلات التدوير يمكن زيادتها بالتدريج مع نضج المفاعل، ولكن فقط المعدل الذي يسبب زيادة للفقد للمواد الصلبة. معدلات التدوير قد تحتاج أن تكون أعلا كثيراً لمفاعلات طبقة التميؤ عند استخدام مجال حمل حبيبي عالي الكثافة عموماً، تدوير المنصرف يجب عدم استخدامه كطريقة أولى لتهدئة حالات المداخل الانتقالية بسبب الفاصل الطويل بين اكتشاف التغير في خواص تنفقات الصرف ورد الفعل للمفاعل. عند وجود تغيرات كبيرة في التدفقات الداخلة والتحميل أو عند توقع وجود سمية، فإنه يبدو أن التسوية على رأس المرشحات تكون من الوسائل المستقلة لحماية المفاعل.

التحميل العضوي : Organic Loading

تصميم معدلات التحميل العضوي بالحجم الكامل (To Full Scale) لمفاعلات الطبقة الثابتة اللاهوائية كان أقل من ١٦ كجرام/المتر المكعب -اليوم، ومعدلات التحميل المستخدمة لم تزد عن ١٢ كجرام/متر مكعب-اليوم. ولكن، معدلات التحميل التي تقترب من ٢٠ كجرام/المتر المكعب-اليوم. يمكن قبولها لفترات زروة قصيرة، مفاعلات طبقة التسيؤ (Fluidized Bed) عملت عند معدلات تحميل أعلا عن المرشحات اللاهوائية أو مفاعلات التدفق العلوي اللاهوائية بطبقة الحماة ذلك بسبب قدرتها علي حجز تركيزات عالية من الكتلة الحيوية والتي بعدها يكون حجم مفاعلات الطبقة الثابتة الهوائية تصبح محدودة بالنسبة للتحميل والتي دونها يكون التصميم محدودًا هيدروليكيًا. تلك الحدود، تتراوح عموماً من ٩٠٠٠ إلي ١٢٠٠٠ ملجرام حمل كيميائي (COD)/ (التر، وقد تكون مختلفة لبدائل كل عملية.

التسوية: (Equalization)

إنه من المعروف جيداً أن المفاعلات الهوائية بالطبقة الثابتة يمكنها قبول التغيرات في تدفقات المخلفات والأحمال مع بعض الخفض في كفاءة المعالجة ولكن بدون اضطراب، والوقت اللازم للاستعداد يزداد مع زيادة المقدار ومدة التغير في التدفق والحمل يزداد. لذلك فإن التسوية تستخدم في معظم المفاعلات اللاهوائية بالتحميل الكامل. وذلك لموامة وترقيق التدفقات الداخلة وللتغيرات في التحميل، بينما كمية التسوية المناسبة تكون متصلة بالتغيرات في تدفقات وتركيز المخلفات، الأحجام عن التسوية إلي حجم المفاعلات اللاهوائية تكون مثالية. في بعض النظم، يستخدم حوضين للتسوية علي التوالي، حيث الحوض الأول يستخدم لضبط وخفض التحميل والثاني يستخدم لتوفير المعدل المنتظم اليومي للتدفق، وكذلك استمرار التدفق للمفاعلات خلال نهايات الأسبوع وفترات التدفق القصيرة.

نظام التوزيع للتدفق وأنابيب سحب الحماة:

Influent Distribution system and Sludge Withdrawal Piping:

العامل الرئيسي في تصميم مفاعلات الطبقة الثابتة بالتحميل الكامل هو التوزيع الجيد لتدفقات مياه الصرف وما يصاحبها من تكوير الصرف. وضع فتحات التوزيع يجب أن يراعي فيها الحدود الهيدروليكية للمواسير وقطر الفتحات. عموماً فتحات التوزيع للمرشحات اللاهوائية بالتدفق العلوي والمفاعلات اللاهوائية بالتدفق العلوي بطبقة الحماة يتم وضعها بفواصل لا تزيد عن واحد متر هذا الفاصل يتطلب قطر فتحة حوالي ١.٨ مليمتراً للمحافظة علي سرعة الخروج عند حوالي واحد متر في الثانية. للفتحات الأصغر

تكون معرضة لزيادة الانسداد والفتحات الأكبر تحتاج إلى فواصل أكبر والذي ينتج عنه ضعف التوزيع.

بسبب صغر قطر منخل مواسير التوزيع والفتحات في مفاعلات التدفق العلوي، فإنه عادة يلزم توفير مجمع علوي منفصل (Separate Header) لسحب الحمأة. هذا المجمع العلوي يكون حجمه بما يمكن الإزالة للحمأة بمعدل عالي.

الفواصل النموذجي للنقط الجمع هو حوالي ٣ متر، حجم مواسير إزالة الحمأة يجب أن يراعي إجمالي إنتاج المواد الصلبة ومعدل صرف الكتلة الحيوية.

إنتاجية المواد الصلبة البيولوجية ومخلفات الحمأة:

Biological Solids Yield and Sludge Wasting:

الأداء الناجح للمفاعلات اللاهوائية بالطبقة الثابتة يتطلب التراكم للمواد الصلبة النشطة البيولوجية بتركيزات كافية لتوفير للكفاءة / الجيدة للمعالجة ومقاومة صدمات الأحمال، زيادة زمن المكث للمواد الصلبة (SRT) يسمح كذلك بأقصى تحلل للمواد الصلبة وأدنى إنتاج للحمأة. إنتاجية المواد الصلبة التي تم قياسها من المرشحات اللاهوائية على المستوي المعملي، تراوح ما بين ٠.٠٢ إلى ٠.١٢ كجرام من المواد الصلبة المتطايرة العالقة (VSS) لكل كجرام من الحمل الكيميائي (COD) مزال مع صافي تراكمت يتراوح ما بين ٠.٠١ إلى ٠.٠٤ على التوالي. التخلص من الحمأة من أن إلى آخر لاستمرار مستوي المواد الصلبة الثابتة وعموماً التحبيب للكتلة الحيوية يصاحبه انخفاض زمن المكث للمواد الصلبة ولذلك إنتاجية أعلا للكتلة الحيوية مقارنة بما يمكن أن يتم للحصول عليه مع البدائل التي تعمل عند زمن مكوث أطول للمواد الصلبة عموماً لا يتم التخلص من المواد الصلبة من مرشحات التدفق العلوي بالطبقة الثابتة حتى امتداد طبقة الحمأة إلى الوسط الزيادة الكبيرة لتركيزات المواد الصلبة العالقة في الصرف في بعض الحالات قد لا يحدث تحبيب وأن المواد الصلبة يتم توزيعها بانتظام خلال طول المفاعل، صرف الحمأة في هذه الحالة يجب أن يبني على عوامل محلية. باستثناء مفاعلات طبقة التسيو ، فإن تركيز المواد الصلبة العالقة في منطقة للحمأة لمفاعلات التدفق العلوي يجب ألا تزيد عن حوالي ٧% بالوزن، وإلا ، فإن كتلة المواد الصلبة قد لا تتدفق، بما يسبب وجود أخاديد وقنوات (Channeling) للمخلفات وضعف الإزالة عند التخلص من الحمأة.

درجة الحرارة:

معظم أشكال المفاعلات اللاهوائية بالطبقة الثابتة عملت بكفاءة جيدة عند درجة حرارة من ٢٥-٣٩ °م . للمخلفات المعقدة التي تتطلب التحلل البيولوجي الأولي يجب أن تعالج عند درجة حرارة ٢٥ °م (الشكل ٨) ..

بخلاف ذلك فإن التحلل يمكن أن يكون المحدد للمعدل في كل للفاعل، لقد أثبتت الخبرة العملية والريادية أن التغيرات القصيرة في درجة الحرارة قد تسبب تغيرات كبيرة في كفاءة الإزالة للحمل الكيماوي (COD) مقارنة بما يمكن أن يحدث عند العمل على درجتين من درجات الحرارة مختلفتين وثابتتين. للعمل عند درجات حرارة من ٥٠-٦٠°م يكون ممكناً ولكن عموماً لا يتم تبريره إلا في حالة درجة حرارة المخلفات تكون مسبقاً عند ٥٠°م. خلاف ذلك فإن الطاقة اللازمة لرفع درجة الحرارة قد تكون أكبر من قيمة الميثان الذي يتم الحصول عليه.

إنتاج الغاز والقياس: Gas Production and Measurement

غاز الميثان يتم إنتاجه من المخلفات العضوية بكميات من ٣٠٠ لتر / كجم من (COD) المزال عند ٣٧°م (390 L/Kg COD). نسبة الميثان في تنفقات الغاز المنتج تتراوح ما بين ٦٠ إلى ٩٥ % طبقاً لمكونات المخلفات وقلوية مياه الصرف الخام. إضافي القلوية في شكل الأمونيا أو الصودا الكاوية (لا يتم استخدام الجير المطفي لضبط الرقم الهيدروجيني في المفاعلات اللاهوائية) التي تسبب زيادة في نسبة الميثان لأن ثاني أكسيد الكربون سوف يظل عالفاً في المحلول في شكل البيكربونات. مواسير صرف الغاز يتم تجهيزها بمصائد للرطوبة واللهب، وكذلك يتم توفير أجهزة القياس للمساعدة في تقدير كفاءة المفاعل، استخدام مواد تكسير الرغاوي (Foam Breakers) يوصي به لمنع حدوث الانسداد في خطوط الغاز وأجهزة القياس.

للفائدة من استخدام مفاعل الغاز لتوليد الطاقة يكون طبقاً للموقع. أجهزة النظافة والقياس والحجز والحرق وتكاليف التشغيل تزيد عن قيمة الغاز خاصة في الوحدات الصغيرة. كذلك، الغاز المنتج من المخلفات ذات التركيز المنخفض عادة تكون غير كافية لتسخين المخلفات بما يكفي. فمثلاً الغاز المنتج من وحدة تزييل ٦٠٠ ملجرام/لتر من الحمل الكيماوي COD سيكون كافياً لتسخين تنفق المخلفات بمقدار ١٠°م فقط.

المراجع

References

1. R. Anderson and M. Greenberg " Hazardous Waste Facility Siting" . J. Amer Planning Assoc, 48:204-218 (1982).
2. National Research Council Report, 1997.
3. US.EPA, Listing Of Waste Oil As A Hazardous Waste Pursuant To Section (8)(2). Washington, D.C. 1981.
4. Environmental Canada, Destruction Technology For Polychlorinated Biphenyls, Report EPS3-EC-83-1.
5. U.S. Councel For Energy Awareness, What Doyon know about low-level Radio Active Wastes, Washington, D.C. P.p.6-7.
6. Office of Waste Reduction Case Studies, North Carolina Department of Environment, Health and National Resources(1995).
7. U.S. EPA, Process Design Manual for Carbon Adsorbttion EPA 625/1-71-002a,1973.
8. J.B. berkowitz et al., Unit Operation for Treatment of Hazardous Wastes, Arthur D. LiHle, Inc, Cambridge 1978.
9. J.K. Easton " Electrolytic Decomposition of Concentrated Cyanide Plating Wastes. J. Water Poll, Control 1967p.1621.
10. A. Bolto And L. PawLowski, Waste water treatment by Ion Exchange E,F,H, Spon, New York 1987.
11. L.E. Applegate " Membrane Separation Processes" Chemical Engineering", 91, June 11,1984.
12. W.P. Balletal "Mass Transfer Of volatile Organic Compounds In Backed Tower Aeration" J. Water Pollution Control Fed 56,2) Februery 1984.
13. A.B. Mutzenberg"Agitated Thin Film Evaporators: Part1: Thin Film Technology, Chemical Engineering, MC Graw H(1). New York Sep13, 1985.
14. Chem. Eng. Equip BuyersGuide to Chem. Eng 93(15) Augustm 4,1986.
15. K.W. Brown and D.C. Anderson. The case of Above Ground Land Fills, Pollut Eng. 15(11)1983.

الفهرس

Contents

المقدمة	٥
---------------	---

الباب الأول

تعريف المخلفات الخطره وتأثيراتها الصحية

الفصل الأول: تعريف وتصنيف المخلفات الخطره	٩
الفصل الثاني: التأثيرات الصحية للمخلفات الخطرة	١٥

الباب الثاني

مخلفات خطره خاصة

الفصل الثالث: الزيت العادم	٢٩
الفصل الرابع: الباي فينيل عديد الكلورة	٣٣
الفصل الخامس: إدارة المستوي المنخفض للمخلفات المشعة	٣٩

الباب الثالث

عمليات الاستعادة للمخلفات الخطره

الفصل السادس: الإدمصاص بالكربون المنشط	٤٧
الفصل السابع: التقطير	٥٩
الفصل الثامن : تقنيات الاستعادة الإليكترولتيية	٧١
الفصل التاسع: التحلل بالماء	٧٧
الفصل العاشر: التبادل الأيوني	٨٧
الفصل الحادي عشر: الاستخلاص بالمذيب	٩٧
الفصل الثاني عشر: تكنولوجيا الفصل الغشائي	١٠٣
الفصل الثالث عشر: التجريد بالهواء والتجريد ببخار الماء	١٢٥
الفصل الرابع عشر: خفض التلوث والاستعادة	١٣٥

الباب الرابع المعالجة الطبيعية والكيميائية

١٤٣	الفصل الخامس عشر: الترشيح والقصل
١٥٧	الفصل السادس عشر: الترسيب الكيميائي
١٦٩	الفصل السابع عشر: تكنولوجيا التجمد والتثبيت
١٧٧	الفصل الثامن عشر: الأكسدة الكيميائية والإختزال
١٨٩	الفصل التاسع عشر: التبخر خارج الغشاء
١٩٧	الفصل العشرون: المعالجة بالأوزون
٢٠٥	الفصل الحادي والعشرون: التبخير

الباب الخامس العمليات الحرارية

٢١٥	الفصل الثاني والعشرون: محارق حرق السائل
٢٣١	الفصل الثالث والعشرون: الأفران الدوارة في صناعة المخلفات الخطره
٢٤٥	الفصل الرابع والعشرون: الحرق بطبقة التميؤ
٢٥٣	الفصل الخامس والعشرون: استخدام المخلفات الخطرة كوقود للغلايات
٢٦٣	الفصل السادس والعشرون: أفران الأسمنت
٢٨٣	الفصل السابع والعشرون: الأكسدة الرطبة
٢٩١	الفصل الثامن والعشرون: خلط الأسفلت
٣٠١	الفصل التاسع والعشرون: عمليات الزجاج المنصهر
٣٠٩	الفصل الثلاثون: الأكسدة المائية فوق الحرجة
٣١٩	الفصل الحادي والثلاثون: نظم البلازما
٣٢٧	الفصل الثاني والثلاثون: عمليات التحلل بالحرارة
٣٣٥	الفصل الثالث والثلاثون: المخلفات الخطرة كوقود في العمليات الصناعية
٣٤٥	الفصل الرابع والثلاثون: حرق المخلفات المعدية

الباب السادس

الردم الأرضي لاحتواء المخلفات الخطرة والتخلص منها

٣٦١	الفصل الخامس والثلاثون: الإنشاء للردم الأرضي
٣٧٩	الفصل السادس والثلاثون: الحجز والتخزين السطحي
٣٨٥	الفصل السابع والثلاثون: الحقن تحت السطح لسوائل المخلفات الخطرة
٣٩١	الفصل الثامن والثلاثون: الإغلاق والعناية بعد الإغلاق للمجمع السطحي للمخلفات الخطرة
٣٩٧	الفصل التاسع والثلاثون: التخلص فوق سطح الأرض
٤٠٣	الفصل الأربعون: تلوث الهواء من مرافق التخلص الأرضي

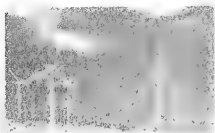
الباب السابع

تقنيات الإصلاح

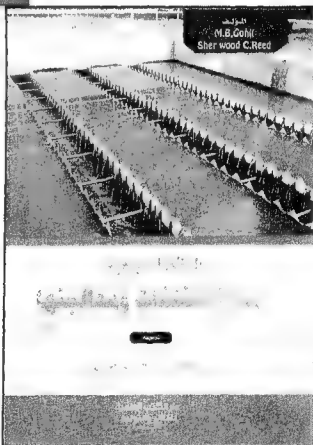
٤٠٩	الفصل الحادي والأربعون: الإزالة النباتية للملوثات
٤١٣	الفصل الثاني والأربعون: الترشيع البيولوجي
٤١٩	الفصل الثالث والأربعون: العمليات البيولوجية لمعالجة مياه الصرف الصناعي
٤٣٩	المراجع

مؤلف: الدكتور محمد أحمد السيد خليل

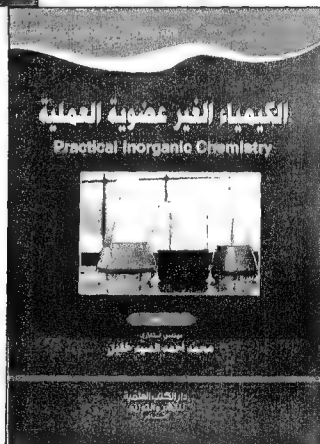
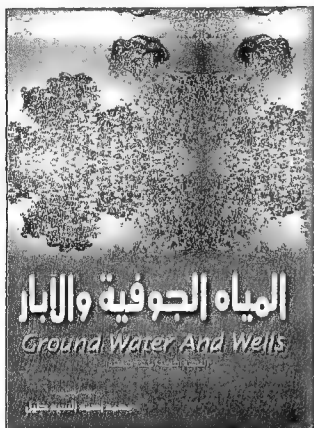
مصادر الطاقة والبيئة



دار الكتب العلمية
للتوزيع والنشر
بمطبعة









دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

٥ شارع الشيخ ربحان - عابدين القاهرة

٢٧٩٥٤٢٢٩ ☎

www.sbh-egypt.com

e-mail : sbh@link.net

Scientific Book House

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

شارع الشيخ ريجان عابدين - القاهرة

٢٧٤٥٢٢٩ ☎

www.sbh-egypt.com

e-mail : sbh@link.net

Scientific Book House

هذا الكتاب

المخلفات الخطرة تشمل العديد من المواد نتيجة الأنشطة الصناعية والمعملية والتي تتمثل خطورتها في كونها إما قابلة للاشتعال أو مسرطنة أو سامة أو قابلة للانفجار أو ذات نشاط إشعاعي أو عدوانية لكونها عالية الحموضة أو القلوية أو ناقلة للعدوى... إلخ مثل تلك المخلفات تشكل تهديداً لصحة الإنسان وللبيئة. وقد كان هذا الدافع لإعداد هذا المرجع لتناول الطرق الطبيعية والكيميائية والحرارية والبيولوجية لمعالجة تلك المخلفات وكذلك طرق التخلص النهائي منها. وقد تم إعداد هذا المرجع في سبعة أبواب متضمنة ٤٣ فصلاً. حيث شمل الباب الأول تعريف بالمخلفات الخطرة وتأثيراتها الصحية والباب الثاني تناول مخلفات خطرة خاصة والثالث تطرق إلى عمليات الاستعادة للمخلفات الخطرة أما الباب الرابع فقد خصص للمعالجة الطبيعية والكيميائية والباب الخامس تناول العمليات الحرارية أما كلا من الباب السادس والباب السابع فقد خصصا لعمليات الردم الأرضي لاحتواء والتخلص من المخلفات الخطرة وكذلك تقنيات الإصلاح.

ويستفاد بهذا المرجع في حل المشكلات المختلفة المتعلقة بالمخلفات لا طبقاً لنوعيتها والطريقة المناسبة للمعالجة والتخلص الآمن. وذلك للعاملين في البيئة والصناعة والمنشآت العلمية والبحثية والطبية والإشعاعية.

Bibliotheca Alexandrina

0945193

ISBN 978-977-287-954-5



9 789772 879545

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

٥٠ شارع الشيخ ربحان - عابدين - القاهرة

٢٧٩٥٤٢٢٩ ☎

www.sbhegypt.org

e-mail: sbh@link.net